



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

David Marinheiro Barbosa

# ESTÁGIO PROFISSIONAL NA EMPRESA ENEOP 3 – VIANA DO CASTELO

Mestrado em Sistemas de Energias Renováveis  
Energias Renováveis e Eficiência Energética / MSER

Orientador

Engenheiro Hugo Pontes

Professor Doutor Manuel Joaquim Peixoto Marques Ribeiro

Julho de 2015





**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

## AUTOR

DAVID MARINHEIRO BARBOSA

---

## CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

---

PRESIDENTE: Doutora Preciosa Pires (IPVC – ESTG)

---

---





## PENSAMENTO

*“ ...não me envergonho de corrigir os meus erros nem mudar as minhas opiniões, porque não me envergonho de raciocinar e aprender.”*

Alexandre Herculano





## AGRADECIMENTOS

Queria começar por agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Ribeiro e ao meu orientador da empresa ENEOP 3, Engenheiro Hugo Pontes, pelo apoio prestado, pela constante e pronta disponibilidade, pelo acompanhamento científico e pela transmissão de conceitos importantes na orientação de tarefas, estruturação, correção e revisão do relatório de estágio.

À minha família, pelo apoio, compreensão, atenção e paciência nos momentos cruciais da minha vida e por todos os sacrifícios que fizeram para que pudesse chegar até aqui.

A todos os meus amigos, pelo apoio e pela amizade demonstrada ao longo de todo este percurso académico.

A todos, o meu muito obrigado.







# ÍNDICE GERAL

PENSAMENTO .....	V
AGRADECIMENTOS .....	VII
ÍNDICE GERAL .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XV
RESUMO .....	XVII
ABSTRACT .....	XIX
<b>CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	22
1.2. A ENERCON .....	24
1.2.1. <i>Origem da Empresa</i> .....	25
1.2.2. <i>Estratégia e Visão do Mercado</i> .....	29
1.3. O VENTO COMO RECURSO ENERGÉTICO .....	30
1.3.1. <i>A Energia Eólica</i> .....	30
1.3.2. <i>Tecnologia dos Aerogeradores produzidos</i> .....	30
1.4. PROJETOS .....	43
<b>CAPÍTULO 2 – EXECUÇÃO DOS PROJETOS .....</b>	<b>45</b>
2.1. PROJETO 1 .....	46
2.1.1. <i>Metodologias</i> .....	46
2.1.2. <i>Resultados</i> .....	51
2.1.3. <i>Discussão de Resultados</i> .....	52
2.2. PROJETO 2 .....	53
2.2.1. <i>Metodologias</i> .....	53
2.2.2. <i>Resultados</i> .....	60
2.2.3. <i>Discussão de Resultados</i> .....	62
2.3. PROJETO 3 .....	63
2.3.1. <i>Metodologias</i> .....	63
2.3.2. <i>Discussão de Resultados</i> .....	64
<b>CAPÍTULO 3 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>CAPÍTULO 4 – REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>69</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Atratividade da Energia Eólica [1] .....	22
Figura 2 - Aloys Wobben .....	25
Figura 3- Quota de Mercado da ENERCON a nível mundial em 2013, com base na potência instalada. (Fonte: BTM Consult 2014).....	29
Figura 4 - Quota de Mercado da ENERCON na Alemanha em 2014, com base na potência instalada. (Fonte: Deutsche WindGuard 2015) .....	29
Figura 5 - Fábrica de Pás de Rotor / Fábrica de Torres de Betão .....	43
Figura 6 - Exemplo de protocolo de manutenção .....	46
Figura 7 – Programa Lótus .....	46
Figura 8 - Milling e Broca Radial.....	53
Figura 9 - Tesoura elétrica.....	54
Figura 10 - Pastilhas de diamante .....	56
Figura 11 - Suporte para afiar Lâminas Inferiores .....	57
Figura 12 - Espaçadores e lâminas Inferiores anteriormente descartadas.....	58
Figura 13 - Braço Original e Braço Modificado .....	58
Figura 14 - Tesoura elétrica com o braço modificado.....	59
Figura 15 - Tampa Standard.....	63





## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores men.hour da manutenção do Rotomax .....	48
Tabela 2 – Todas as Manutenções dos Equipamentos de Transporte.....	49
Tabela 3 - Número de Protocolos Realizados num ano .....	51
Tabela 4 - Numero de Técnicos Necessários.....	51
Tabela 5 - Top material mais usado/caro .....	53





---

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Potência anual instalada no Mundo de produção de energia eólica (Global Wind Energy Council 2013) .....	23
Gráfico 2 - Portugal - capacidade geradora acumulada (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Industrial 2013).....	24
Gráfico 3 - Todas as Manutenções dos Equipamentos de Transporte .....	49
Gráfico 4 - Termografia de 40 horas de <i>Milling</i> .....	55
Gráfico 5 - Consumos de fresas para <i>Milling</i> .....	60
Gráfico 6 - Consumos de brocas radiais .....	60
Gráfico 7 - Consumos de lâminas inferiores.....	61
Gráfico 8 - Consumos de braços .....	61
Gráfico 9 - Consumos de lâminas superiores .....	62







## RESUMO

Este estágio profissional, ao abrigo do programa de estágios do Instituto de Emprego e Formação Profissional, em parceria com a empresa ENEOP 3 teve como objetivo elaborar um estudo sobre melhorias no processo produtivo, de modo a tornar esta empresa mais eficiente, ou seja, reduzir custos de produção, sem pôr em causa a qualidade final do produto. Este foi dividido em três grandes fases, originando cada uma delas um projeto.

O 1º Projeto, com duração prevista de dois meses, tem como objectivo determinar o número de pessoas necessárias para efetuar todas as manutenções preventivas das máquinas da unidade fabril ao longo de um ano.

O 2º Projeto, com a mesma duração do anterior, tem como objetivo estudar soluções de melhoria em componentes de alguns equipamentos que sofrem um maior desgaste, de modo a tentar reduzir os custos com as suas manutenções.

Por último, numa terceira fase, para uma duração de quatro meses foi realizado um levantamento do sistema de aspiração da empresa, efetuando-se também o seu mapeamento e a elaboração do respetivo protocolo de manutenção.





## **ABSTRACT**

This professional stage, under the internship program of the Institute of Employment and Training, in partnership with the company ENEOP 3 aimed to prepare a study on improvements in the production process, in order to make this company more efficient, to reduce production costs, without compromising the final product quality. This was divided into three main stages, giving each of them a project.

The 1st Project, scheduled to last two months, aims to determine the number of people needed to perform all preventive maintenance of the machines of the plant over a year.

The 2nd Project, with the same period of the previous, aims to study improvement solutions in components of some equipment that suffer greater wear, and try to reduce the cost of their maintenance.

Finally, in a third phase, with the duration of four months was to develop a survey of the company's vacuum system also making up its mapping and the development of the respective maintenance protocol.





# **CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

## 1.1. INTRODUÇÃO

O risco das mudanças climáticas tem sido uma preocupação global nos últimos anos e, com isso, a sustentabilidade consolidou-se como parte fundamental do paradigma de desenvolvimento do século XXI. Desta forma, as energias renováveis apresentam-se como uma importante solução para o suprimento elétrico futuro.



Figura 1 - Atratividade da Energia Eólica [1]

A preocupação ambiental aliada ao enorme progresso tecnológico no segmento das energias renováveis proporcionou um movimento em direção a estas fontes de energia. Sendo assim, a expansão da energia eólica, nestes últimos anos, já era esperada.

Considerada uma das fontes mais limpas de energia do planeta, a energia eólica, da forma como é hoje gerada, tornou-se comercialmente viável na década de 1990.

O alto custo da produção de energia, juntamente com as vantagens da energia eólica como uma fonte de energia renovável e amplamente disponível, tem levado vários países a estabelecer incentivos regulamentando e dirigindo investimentos financeiros para estimular a produção deste tipo de energia.

Os dois últimos estudos da Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA) mostram um crescimento do uso de energia eólica no mundo. Os trabalhos, que avaliaram os anos de 2010 e o primeiro semestre de 2011, revelam que, ao todo, 86 países já utilizam essa fonte renovável para a produção de energia elétrica [2].

Esse aumento da participação da energia eólica no mundo está relacionado com diversos fatores. Entre estes está a necessidade dos países poderem contar com uma fonte de energia segura. Além disso, o seu custo de instalação está a diminuir e é livre de emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases poluentes, além de menores impactos sobre o meio ambiente.

Na figura abaixo está traduzida a potência anual instalada no mundo até ao ano de 2012.



Gráfico 1 - Potência anual instalada no Mundo de produção de energia eólica (Global Wind Energy Council 2013)

Em alguns países, a energia elétrica gerada a partir do vento representa uma significativa parcela. Na Dinamarca, ela representa 23% da produção, 6% na Alemanha e cerca de 8% em Portugal e Espanha (dados de Setembro de 2007).

A energia eólica em Portugal começou a ser aproveitada no país para geração de energia elétrica em 1986, quando foi construído o primeiro parque eólico do país, na ilha de Porto Santo, no arquipélago da Madeira. Seguiram-se-lhe o Parque Eólico do Figueiral, na ilha de Santa Maria, nos Açores (1988) e, em Portugal Continental, o Parque Eólico de Sines (1992).

Desde então tem crescido bastante como é verificado no gráfico abaixo indicado.[3]

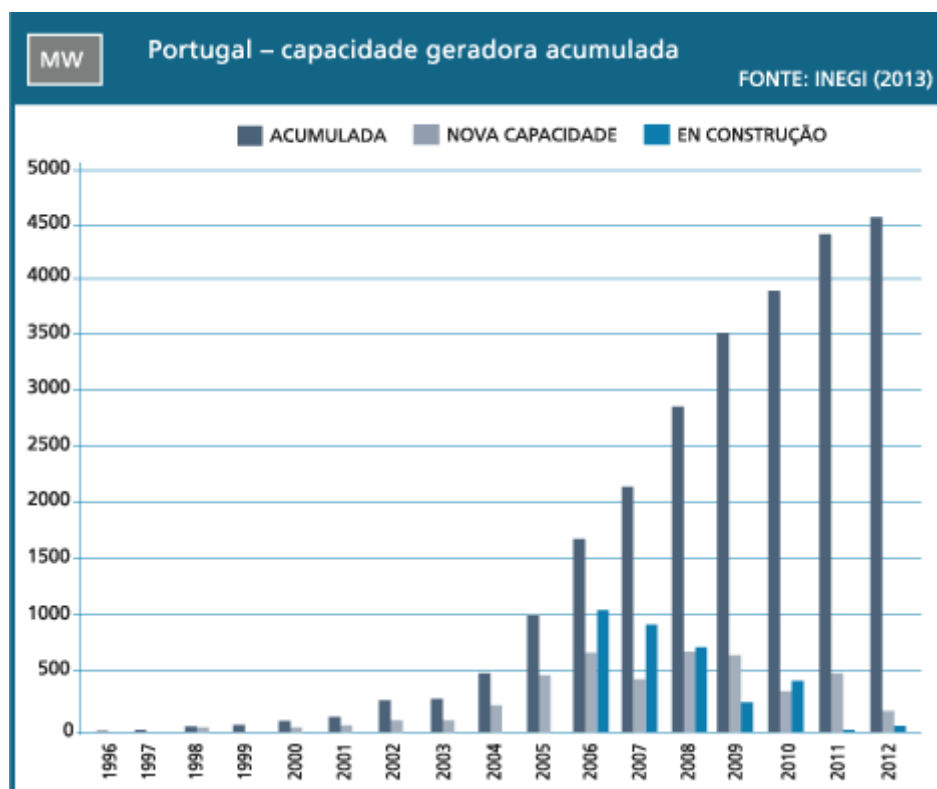


Gráfico 2 - Portugal - capacidade geradora acumulada (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Industrial 2013)

## 1.2. A ENERCON

A ENERCON é uma empresa que produz pás, torres e rotores de um aerogerador, ou seja, o conjunto completo. É constituída por 4 fábricas de produção na Alemanha e mais 7 em outros países. Tem uma área total de produção 870.000m<sup>2</sup> com mais de 300 estações de *Service*. Na área da logística existem equipas com guas móveis até 1600 toneladas, centenas de viaturas de serviço e vários veículos de transportes especiais para torres e pás.

A ENERCON tem uma Potência instalada de 32,9 Gigawatts e mais de 22.000 aerogeradores a nível mundial.



### 1.2.1. ORIGEM DA EMPRESA

Ao fundar a empresa em 1984, o Eng. Aloys Wobben (**Figura 2**) deu início ao sucesso económico e ecológico da ENERCON. Uma pequena equipa de engenheiros desenvolveu o primeiro aerogerador E-15/16 com uma potência nominal de 55 kW.

Os primeiros aerogeradores estavam equipados com sistemas de engrenagem, contudo em 1992 deu-se o salto tecnológico definitivo ao construir o ENERCON E-40/500 kW, um aerogerador sem sistema de engrenagem. O inovador sistema de acionamento com poucos componentes rotativos

permite obter um fluxo de energia quase sem fricção. A potência e a fiabilidade deste sistema têm permitido um desempenho exemplar. Enquanto que ao longo dos anos as cargas mecânicas, os custos de operação e de manutenção têm vindo a ser reduzidos, a vida útil dos aerogeradores é cada vez maior.

Este conceito de aerogerador já tem provas dadas e é atualmente uma característica de todos os aerogeradores ENERCON. Novas gerações de aerogeradores surgem do desenvolvimento contínuo de todos os componentes e oferecem aos clientes produtos tecnologicamente avançados. A nova geometria da pá do rotor introduzida em 2004 é um exemplo dessa inovação tecnológica, provocando um aumento significativo do rendimento enquanto que as emissões acústicas e as cargas que afetam o aerogerador foram reduzidas.

Todos os aerogeradores ENERCON dispõem de um sistema de alimentação de rede, que cumpre com os mais recentes requisitos de ligação. Desta forma, podem integrar-se sem problemas em todas as estruturas de fornecimento e de distribuição de energia. O conceito ENERCON oferece soluções diferentes, não apenas para situações críticas resultantes de curto-circuitos da rede ou estrangulamentos, mas também para o funcionamento normal da máquina, como o controlo da potência reativa e da tensão.

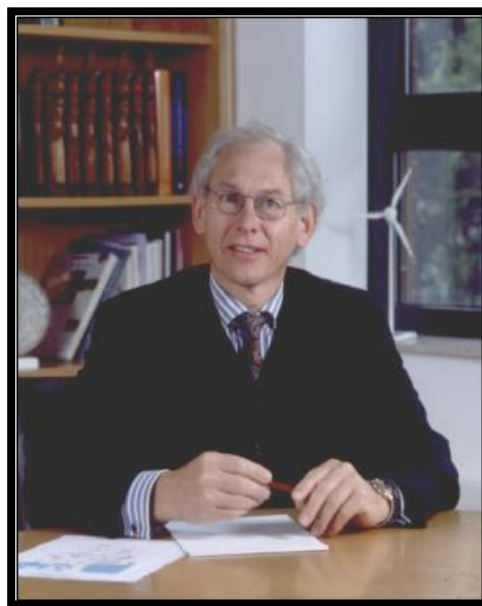


Figura 2 - Aloys Wobben



Graças às suas inovações tecnológicas, a ENERCON é reconhecida por estabelecer novos padrões durante os seus 30 anos de atividade. Como uma das empresas líderes mundiais no sector da energia eólica, e líder no mercado alemão há muitos anos, a ENERCON emprega direta ou indiretamente mais de 13.000 pessoas em todo o mundo. Com mais de 22.000 aerogeradores instalados em mais de 30 países diferentes, a ENERCON encontra-se entre as empresas líderes de mercado a nível internacional. Áreas como a investigação e o desenvolvimento, a produção e distribuição encontram-se em contínua expansão. [4]

## **Cronologia**

### **1984**

- O Engº Aloys Wobben funda a empresa.
- Desenvolvimento do primeiro aerogerador ENERCON E-15/16 com 55kW.

### **1986**

- Construção do primeiro parque eólico da ENERCON com 10 x E-16.

### **1988**

- Construção das primeiras instalações de produção da empresa.
- Desenvolvimento e montagem do E-17 / 80kW e E-32 / 300kW.

### **1991**

- Desenvolvimento do conceito de sistema sem engrenagem ENERCON (1º protótipo).

### **1993**

- Arranque da produção em série do E-40 / 500kW.
- Construção de uma fábrica de produção de pás do rotor em série.

### **1995**

- Produção em série do aerogerador sem engrenagem E-30 / 230kW na Índia
- Montagem do protótipo do E-66 / 1.500kW em Aurich.

### **1996**



- Aquisição de uma fábrica no Brasil.

## **1997**

- Instalação de uma central de dessalinização em Tenerife, com fornecimento de energia proveniente de um aerogerador.

## **1998**

- Participação na empresa “SKET Maschinen- und Anlagenbau GmbH” em Magdeburg.
- Construção de uma fábrica de produção de E-66 em Magdeburg.

## **2000**

- O Eng<sup>o</sup> Aloys Wobben, fundador e proprietário da empresa, é galardoado com um prémio ambiental da "Bundesstiftung Umwelt" (Fundação Alemã para o Ambiente).

## **2001**

- Construção da fundação e da torre do protótipo E-112 / 4.500kW.
- Construção de uma nova fábrica de produção de aerogeradores em Magdeburg-Rothensee.
- Ampliação da área de produção internacional para 285.000m<sup>2</sup>.

## **2002**

- Construção de uma nova fábrica de produção de pás na Turquia.
- O protótipo E-112 é colocado em funcionamento com êxito em Egeln, Magdeburg.

## **2003**

- Início da produção em série de pás do rotor para o E-112 em Magdeburg-Rothensee.

## **2004**

- Montagem do primeiro E-70 com 2 MW de potência nominal e nova geração de pás do rotor.
- Ampliação da produção dos aerogeradores E-70, E-48, E-33.
- Montagem de dois E-112 no parque eólico Wybelsumer Polder, Emden.
- Montagem de um E-112 como "aerogerador nearshore" no rio Ems, Emden.



## **2005**

- Construção de uma nova fábrica de torres de betão em Emden.
- Ampliação da área de produção internacional para 370.000 m².
- Desenvolvimento do E-112 para 6MW.
- O protótipo E-82 é colocado em funcionamento com êxito perto de Aurich.

## **2006**

- Construção do novo edifício administrativo em Aurich.
- Os protótipos E-44 e E-53 são colocados em funcionamento com êxito.
- Evolução do E-112 para o E-126.

## **2007**

- Construção da primeira torre de betão de 138 m para o E-82 em Hilchenbach, NRW.
- O protótipo E-126 / 6MW é colocado em funcionamento.
- Arranque da produção de pás do rotor em Viana do Castelo, Portugal.

## **2008**

- Inauguração da via-férrea entre Aurich-Emden para o transporte de cargas.
- Arranque da construção de uma fundição perto de Aurich.
- Lançamento e batismo do navio E-Ship.

## **2009**

- Arranque da produção no centro de fundição Ostfriesland (Georgsheil).
- Conclusão e arranque da central hidroelétrica em Raguhn.
- Conclusão da ampliação da fábrica de torres (WEC) em Magdeburg.

## **2011**

- Expansão da capacidade de produção nas unidades fabris de Haren e Aurich.
- Instalação de uma unidade de produção de torres de betão em França.
- Construção de uma unidade de produção móvel de torres de betão no Brasil.
- Conclusão da central hidroelétrica do Weser. [5]

### 1.2.2. ESTRATÉGIA E VISÃO DO MERCADO

A ENERCON é uma das empresas com maior representatividade em energia eólica a nível mundial estando esta no top3 e é líder na sua origem, ou seja, na Alemanha. Estes dados podem ser verificados nas duas figuras abaixo indicadas. [7,8]

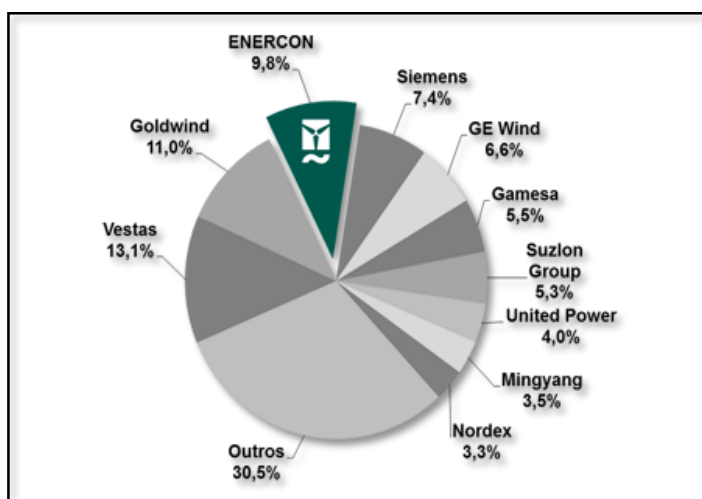


Figura 3- Quota de Mercado da ENERCON a nível mundial em 2013, com base na potência instalada. (Fonte: BTM Consult 2014)

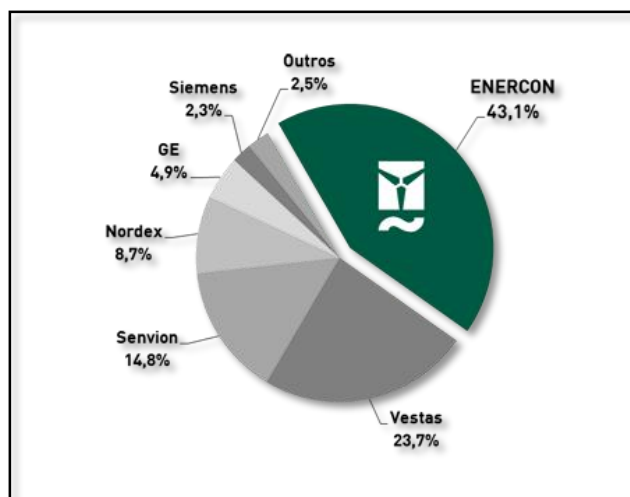


Figura 4 - Quota de Mercado da ENERCON na Alemanha em 2014, com base na potência instalada. (Fonte: Deutsche WindGuard 2015)



## 1.3. O VENTO COMO RECURSO ENERGÉTICO

### 1.3.1. A ENERGIA EÓLICA

A energia eólica tem origem na energia solar. É uma forma de energia cinética produzida pelo aquecimento diferenciado das camadas de ar originando uma variação da massa específica e gradientes de pressão. Além disso, também é influenciada pelo movimento de rotação da Terra sobre o seu eixo e depende significativamente de influências naturais, como: continentalidade, maritimidade, latitude ou altitude. As formas de aproveitamento dessa energia estão normalmente associadas à conversão da mesma em energia mecânica e elétrica.

As máquinas movidas pelo vento são utilizadas desde a Idade Antiga e podem ser consideradas como um dos primeiros avanços tecnológicos da humanidade. O primeiro registro histórico de utilização da força motriz do vento para bombagem de água e moagem de grãos através de cata-ventos remonta à Pérsia (atual Iraque/Irão), por volta do ano 200 a.C. As máquinas eólicas de pequeno porte para produção de energia elétrica (sistemas isolados) também têm sido usadas há cerca de 20 anos. A primeira máquina eólica de grande porte para produção de energia elétrica remonta à década de 1950.

Atualmente as máquinas de grande porte disponíveis são em maioria tripás de eixo horizontal. Entretanto, existem máquinas bipás, monopás, quadripás e multipás de eixo horizontal, além das máquinas Darrieus e Savonius de eixo vertical, bem como diversos outros dispositivos. Essas inúmeras variantes são normalmente utilizadas apenas para máquinas de pequeno porte.

### 1.3.2. TECNOLOGIA DOS AEROGERADORES PRODUZIDOS

#### **Sistema de Acionamento**

##### **Conceito da pá do rotor**



As pás do rotor dos aerogeradores ENERCON estabelecem novos padrões na tecnologia eólica, no que diz respeito ao rendimento, às emissões acústicas e à minimização de cargas. Graças à alteração da geometria da pá, atualmente tira-se também partido da parte interna da pá, aumentando assim consideravelmente a produção energética. Para além disso, as pás do rotor apresentam uma menor suscetibilidade a turbulências e asseguram um fluxo de ar uniforme ao longo de todo o perfil da pá. As pontas das pás (também designadas de Tips) foram otimizadas para reduzir as emissões acústicas e para aumentar a produção energética. As turbulências originadas por altas e baixas pressões nas pontas das pás deixam de afetar a área do rotor. Deste modo, a pá é aproveitada em todo o seu comprimento sem perdas de energia devido a turbulências. O alto grau de eficiência das pás ENERCON reflete-se nas curvas de potência de todos os aerogeradores: Todas as medições confirmam que se alcançam coeficientes de potência ( $C_p$ ) acima de 0,5.

#### **Vantagens das pás de rotor ENERCON:**

- Maior eficiência graças à nova geometria da pá.
- Redução das emissões acústicas devido à otimização das pontas das pás.
- Vida útil prolongada devido à redução das cargas.
- Transporte mais fácil graças à forma mais estreita das pás.
- Reduz o arrasto aumentando o torque.

As pás ENERCON são fabricadas pelo método de infusão a vácuo, numa estrutura de construção tipo “sandwich”. As telas de fibra de vidro, que se colocam dentro de um molde, são impregnadas com resina através de um sistema formado por tubos e uma bomba de vácuo. Deste modo evita-se a formação de bolhas de ar no laminado.

Para uma proteção eficaz da superfície das pás contra as influências atmosféricas, tais como o vento e a chuva, a radiação ultravioleta ou as agressões causadas pela erosão e pelos esforços de flexão, no processo de acabamentos da pá ENERCON é aplicado um sistema de proteção à base de *Gelcoat*, massa de enchimento, tinta de proteção de bordos e tinta de acabamento. Em geral, este sistema de proteção consiste num composto de poliuretano bi-componente, isento de solventes.

Finalmente para suportar as tensões provocadas pelo vento ao longo de toda a vida útil do aerogerador, as pás ENERCON dispõem de uma área de ligação com



um diâmetro de grandes dimensões. Para além disso, a fixação das pás através de duas fileiras de pernos, especialmente desenvolvida pela ENERCON para aerogeradores grandes, proporciona uma distribuição uniforme de cargas, aumentando assim a segurança. Este sistema constitui um fator determinante, sobretudo em locais com ventos extremos e cargas fortes.[6]

### **Acionamento direto**

O sistema de acionamento dos aerogeradores da ENERCON segue um princípio simples: ao reduzir o número de componentes rotativos, minimizam-se as sobrecargas mecânicas e aumenta-se a vida útil da máquina. Os custos de manutenção e de intervenções do *Service* (assistência técnica) diminuem (por exemplo, há um *menor* desgaste de peças e não é necessário mudar o óleo, porque não existe engrenagem mecânica). Consequentemente reduzem-se também os custos de funcionamento da máquina. O *hub* do rotor e o gerador em anel encontram-se diretamente ligados entre si como uma unidade fixa sem necessidade de um sistema de engrenagem. Graças aos rolamentos, o rotor assenta sobre um eixo fixo, denominado por “pino do eixo”. Ao invés dos aerogeradores convencionais com engrenagem e que dispõem de um enorme número de pontos de contato no mesmo conjunto de transmissão, o sistema de acionamento da ENERCON utiliza apenas dois rolamentos que giram com suavidade. Tudo graças à velocidade moderada de rotação do acionamento direto.

Apesar de há alguns anos o único componente em aço fundido ser o hub do rotor, atualmente é possível fabricar outros componentes principais, como por exemplo o adaptador da pá, o pino do eixo e o suporte da máquina com modernos processos de fundição de grafite esferoidal. A ENERCON, em estreita colaboração com empresas de fundição, procura o aperfeiçoamento contínuo dos seus componentes. Todos os componentes de fundição são desenhados num programa de CAD 3-D e processados com o auxílio do método de elementos finitos para analisar os níveis excessivos de tensão em pontos críticos. As medições ajudam o desenhador a verificar e a otimizar a funcionalidade durante toda a fase de desenvolvimento do protótipo. Para assegurar a identificação e a rastreabilidade de cada peça de fundição, a ENERCON atribui um código de barras a cada componente que permite identificá-lo em caso de ocorrência de um eventual





problema de qualidade. Para poderem ser utilizadas no processo de produção, as peças de fundição têm de passar por rigorosos controlos de qualidade. Desta forma também se garante que as peças de fundição fornecidas respeitem os altos níveis de qualidade exigidos pela ENERCON.

Desde meados de 2009, a ENERCON também pode produzir em exclusivo os componentes de fundição para os seus aerogeradores.

#### **Procedimentos de controlo de qualidade em peças de fundição ENERCON:**

- Análise estrutural do componente.
- Teste por ultra-sons.
- Teste por raios X. [9]

#### **Gerador em Anel**

O gerador em anel desempenha um papel fulcral no âmbito do conceito de aerogeradores ENERCON sem sistema de engrenagem. Em conjunto com o *hub* do rotor, o gerador proporciona um fluxo energético praticamente sem fricção. A rotação suave dos poucos componentes móveis garante um desgaste mínimo dos materiais. Ao contrário dos geradores de alta velocidade convencionais, o gerador em anel da ENERCON está praticamente isento de desgastes mecânicos e destina-se a esforços particularmente acentuados e a uma vida útil prolongada.

O gerador em anel ENERCON é um gerador multipolar, síncrono e sem acoplamento direto à rede. A tensão e a frequência de saída variam de acordo com a velocidade de rotação e são convertidas para a rede através de um circuito intermédio de corrente contínua e inversores. Desde modo, alcança-se uma elevada variabilidade da velocidade.

#### **Vantagens do gerador em anel ENERCON:**

- Sem sistema de engrenagem.
- Desgaste mecânico reduzido graças à rotação suave da máquina.
- Redução de tensões devido à elevada variabilidade da velocidade.
- Controlo otimizado do rendimento.
- Alto nível de compatibilidade com a rede.



## **Estator e rotor**

Para cumprir os requisitos da ENERCON e conseguir uma vida útil longa, os enrolamentos de cobre do estator (a parte estática do gerador em anel) são concebidos na classe de isolamento F (155°C). Devido à sua semelhança com o entrelaçado de um cesto, o enrolamento de cobre também se poderia designar de *cesto fechado de uma só camada*. Este consiste em fios individuais arredondados que são amarrados e isolados com verniz.

Na ENERCON, a colocação dos enrolamentos de cobre é um trabalho exclusivamente manual. Apesar da crescente automatização existente em outras áreas do processo de fabrico, neste caso optou-se pelo trabalho manual. Desta forma, se garante um controlo integral dos materiais processados. Além disso, um procedimento especial permite a aplicação de um enrolamento contínuo que se insere do princípio ao fim sem interrupções.

### **Vantagens do enrolamento contínuo:**

- Evita defeitos de fabrico na elaboração de ligações elétricas
- Mantém a elevada qualidade do sistema de isolamento do condutor de cobre
- Não há resistências de contacto
- Evitam-se pontos suscetíveis de corrosão e desgaste

O campo magnético do enrolamento do estator é excitado através de polos magnéticos. Estes encontram-se no rotor, a parte móvel do gerador em anel ENERCON. Uma vez que a forma e a posição dos polos magnéticos têm uma influência determinante sobre as emissões acústicas do gerador em anel, o departamento de investigação e desenvolvimento da ENERCON dedicou especial atenção a este aspeto. O resultado desse trabalho foi o de se conseguir uma adaptabilidade ótima dos polos magnéticos originando uma rotação suave do gerador em anel e, conseqüentemente, uma ausência de ruído durante o seu movimento.



## **Comportamento térmico**

O gerador em anel da ENERCON caracteriza-se por um controlo otimizado da sua temperatura. Com a ajuda de inúmeros sensores térmicos, é possível monitorizar permanentemente as áreas mais quentes do gerador. A temperatura que ativa os sensores é consideravelmente inferior à resistência térmica dos materiais de isolamento do gerador em anel. Deste modo, previne-se sobrecargas devido a temperaturas extremas.

## **Garantia de qualidade**

Para garantir o elevado nível de qualidade da ENERCON, todos os geradores em anel são produzidos exclusivamente em fábricas de produção própria, garantindo sempre a utilização de materiais de primeira qualidade. A estreita colaboração com os fornecedores revelou ser a solução mais fiável para assegurar a máxima qualidade do material. Deste modo, por exemplo, os fios de cobre envernizados são submetidos a mais testes dos que estão definidos nas normas, enquanto os polos magnéticos e as bobinas são submetidos a provas de tensão e choque. As amostras e os resultados são posteriormente guardados em sistema informático. [10]

## **Sistema de Controlo do Aero gerador**

Os aerogeradores ENERCON estão equipados com a mais moderna tecnologia de controlo microeletrónica, desenvolvido pela própria empresa. O componente principal do sistema de controlo, a MPU (*Main Processing Unit* – Unidade Principal de Processamento) está em constante comunicação com os elementos de controlo periféricos, tais como o controlo azimutal e o sistema independente de controlo do ângulo de passo das pás. A sua função consiste em ajustar os parâmetros individuais do sistema para garantir que o aerogerador



ENERCON alcance o máximo nível do rendimento com todo o tipo de condições atmosféricas.

### **Técnica do sistema de controlo ENERCON:**

- Controlo azimutal da gralha ajustável através da avaliação permanente das medições obtidas pelo sensor de vento.
- Velocidade variável para uma maior eficiência do aerogerador com qualquer intensidade do vento e regulação de cargas e picos de potência indesejados
- O sistema de controlo ativo do ângulo de passo das pás permite obter o melhor ângulo para as pás para assim poder assegurar um rendimento máximo, bem como reduções de cargas em todo o aerogerador.
- O sistema de travagem da ENERCON garante a segurança máxima graças a três sistemas independentes de controlo do ângulo das pás e a alimentação de emergência (baterias) em caso de falha elétrica.
- Monitorização da torre e do gerador através de sensores de vibração e aceleração, para o controlo de oscilações na torre.
- Sensores de temperatura e sensores do entreferro, entre o rotor e o estator, garantem a segurança de funcionamento do gerador.[8]

### **Monitorização da alimentação da rede**

Para garantir uma alimentação correta da rede pelos aerogeradores ENERCON é necessária uma monitorização das condições da rede no ponto de ligação. Para isso, são medidos os valores dos parâmetros de rede, tais como tensão, corrente e frequência da linha de baixa tensão entre o inversor ENERCON e o transformador. Os valores medidos são transmitidos continuamente ao sistema de controlo do aerogerador, de modo a que este possa reagir imediatamente às alterações de tensão e de frequência na rede.

Caso sejam ultrapassados os valores limite definidos para garantir a segurança do aerogerador ou da rede, o aerogerador para de forma segura e o ENERCON Service (assistência técnica) é informado automaticamente. Logo que a tensão e a frequência regressarem às tolerâncias admissíveis, o aerogerador



ENERCON reinicia automaticamente. Desta forma, são evitados períodos de paragem longos.

### **Sistema de controlo de tempestade ENERCON**

Os aerogeradores ENERCON estão equipados com um sistema especial de controlo de tempestade. Este sistema permite regular o funcionamento do aerogerador em caso de vento extremamente forte, sem as habituais paragens e as consequentes perdas de rendimento. Os aerogeradores ENERCON funcionam de acordo com um outro princípio no caso de vento extremo. Estão equipados com um *software* especial de controlo de tempestade que evita paragens repentinas do aerogerador. O aerogerador não para automaticamente ao ser ultrapassada uma determinada velocidade de vento, apenas reduz a produção mediante a redução da velocidade de rotação. Para isso, as pás do rotor são rodadas para fora da ação direta do vento. Quando a velocidade do vento diminuir, as pás voltam a rodar para o vento e o aerogerador regressa ao funcionamento em plena potência. Desta forma, evitam-se os processos de paragem e arranque, que se traduzem em perdas de rendimento.

O sistema de controlo de tempestade ENERCON oferece igualmente importantes vantagens de segurança para a rede. Mesmo com velocidades de vento extremas não se corre o risco de falhas prolongadas na alimentação da rede, que em termos de impacto é comparável a uma paragem de várias centrais elétricas convencionais. [11]

### **Integração na rede & Gestão de parques eólicos**

Hoje em dia, a energia eólica já representa uma importante quota-parte nos sistemas internacionais de abastecimento de energia. Agora, mais do que nunca, temos a obrigação de enfrentar o desafio de um fornecimento de energia limpa e constante, com base numa elevada proporção de energia eólica. Estima-se que nos próximos anos, a energia eólica cobrirá uma parte crescente das necessidades energéticas a nível mundial. Uma das condições prévias para isso dependerá, sobretudo, da capacidade da tecnologia eólica para se integrar nas estruturas de

---



rede existentes. Para isso, é necessário uma tecnologia inteligente e flexível que cumpra com os requisitos dos operadores de rede, no que diz respeito aos aerogeradores e aos parques com as mesmas características de uma central elétrica.

No âmbito da nova versão da EEG (Lei Alemã das Energias Renováveis) isto foi reconhecido e foram criadas as condições legais e os incentivos necessários. A ENERCON aceitou este desafio e em colaboração com operadores de rede alemães e internacionais, foram desenvolvidas soluções eficazes para cumprir as atuais condições de ligação à rede para aerogeradores e parques eólicos, disponibilizando os serviços desejados e prescritos pela lei dentro do sistema de rede. Também no futuro, a ENERCON continuará a desenvolver esforços no sentido de se manter pioneira no campo da integração de aerogeradores na rede, para obter um fornecimento estável, altamente qualitativo e rentável com energia eólica.

O gerador em anel desempenha um papel primordial no âmbito do conceito de aerogeradores ENERCON sem sistema de engrenagem. O gerador em anel ENERCON é um gerador síncrono multipolar, que está diretamente unido ao rotor do aerogerador. A tensão e a frequência de saída do gerador variam de acordo com a velocidade do rotor e são convertidas para a rede através do sistema de alimentação da ENERCON. Isto permite uma grande variedade de velocidades e o gerador pode ser facilmente desacoplado da rede.

O sistema de ajuste do ângulo de passo das pás e a excitação elétrica permitem um controlo e otimização, a todo momento, da velocidade e produção de potência do gerador graças ao sistema de controlo do aerogerador. A potência produzida pelo gerador é conduzida ao sistema de alimentação de rede ENERCON, que consiste num retificador, o chamado “circuito intermédio” e um sistema modular de inversores. O sistema de inversores define as características essenciais do fornecimento da rede, garantindo que a potência de saída cumpra as especificações normativas da rede.

Desta forma, a tensão, frequência e potência são transformadas de acordo com os requisitos da rede. Através do transformador do aerogerador, a tensão de 400 V do inversor eleva-se a média tensão adequada à rede pública ou do parque eólico. Os aerogeradores ENERCON dispõem de uma sistema de alimentação de rede que cumpre com os mais recentes requisitos de ligação à rede, permitindo a integração fácil em todas as estruturas de transmissão e de distribuição. O sistema de alimentação da rede oferece uma grande quantidade de características de



atuação para o funcionamento da rede, como, por exemplo, o controlo de potência reativa e a contribuição opcional para manter a estabilidade da tensão. O comportamento dos aerogeradores ENERCON é, em muitos aspetos, comparável ao das centrais elétricas convencionais, podendo até em alguns aspetos ir mais além. A ENERCON é o primeiro fabricante a nível mundial a receber certificados que confirmam a equivalência das características dos seus aerogeradores.

Com base neste tipo de certificados de produto e de unidade, e também de simulações validadas, de agora em diante, será possível emitir os certificados para parques eólicos requeridos pelos regulamentos da BDEW (Associação Federal Alemã para a Gestão Energética e de Água) e pela atual EEG (Lei Alemão das Energias Renováveis). [12]

### **Construção de torres**

As torres ENERCON oferecem as melhores condições de transporte, montagem e utilização graças ao seu desenho estrutural de distribuição de cargas dinâmicas. Além das especificações de normas nacionais ou internacionais obrigatórias aplicáveis à construção de torres (por exemplo, DIN e Eurocode), a ENERCON cria os seus próprios padrões de qualidade e segurança. Já durante a fase de desenvolvimento são elaborados modelos virtuais das torres em 3D, através do método de elementos finitos (FEM), aos quais se aplicam simulações de todas as cargas possíveis que o aerogerador terá de suportar na realidade. Deste modo, e antes da construção de um protótipo, se garante a estabilidade e a vida útil das torres. Os dados obtidos mediante medições frequentes, que a ENERCON realiza de forma continuada nos aerogeradores existentes, contribui para uma verificação ainda mais minuciosa dos resultados inicialmente calculados. Os cálculos previamente realizados pela ENERCON são avaliados por organismos de certificação, institutos de investigação e empresas de engenharia contratados para o efeito. No processo de desenvolvimento das torres ENERCON também é tido em conta o aspeto estético das mesmas e o resultado pode ser apreciado nas torres já construídas.

Torres elegantes, construídas seguindo diferentes ângulos de inclinação, são um conceito ótico desenvolvido pela ENERCON e que se distingue das tradicionais construções cilíndricas de aspeto pesado e volumoso.





## Torre de aço

As torres de aço ENERCON são fabricadas em várias secções de torre individuais. Como técnica de união utilizam-se flanges especiais em forma de L, em oposição às uniões com flanges convencionais (tais como as que são utilizadas na construção de chaminés de aço). Na flange em L, a costura da soldadura situa-se fora da zona de carga de tensões.

### Outras vantagens desta técnica de união:

- Deixam de existir trabalhos de soldadura complexos e dispendiosos na obra.
- Montagem rápida e segura segundo os mais altos padrões de qualidade.
- Total proteção anticorrosiva graças às melhores condições técnicas de produção.

Nas torres de aço ENERCON de pouca altura, é instalado um sistema de ancoragem, que consiste num *cesto de fundação* com pernos, que fixa a torre à fundação, devido ao reduzido perímetro da torre. Este cesto de fundação caracteriza-se pelos numerosos pernos roscados que se dispõem em duas fileiras circulares. A posição correta de cada perno é garantida através de um molde em forma de anel, que corresponde exatamente às mesmas medidas da flange da torre. Após finalização da fundação, o segmento inferior da torre é colocado sobre os pernos do cesto da fundação que sobressaem à superfície do betão e é aparafusado com porcas de união.

Um sistema de fixação especialmente desenvolvido pela ENERCON - um anel da fundação - é utilizado para torres de aço de maior altura. Esta peça estrutural de construção cilíndrica é colocada na sub-base antes da betonagem e a sua altura é nivelada milimetricamente mediante o uso de pernos de ajuste.

A fixação entre a torre e o anel da fundação é efetuada através da união de flanges, depois de concluir a betonagem da fundação. Como todos os outros componentes, também as torres de aço têm de cumprir os rigorosos requisitos de qualidade impostos pela ENERCON.

Os exigentes controlos de qualidade começam logo na fase de desenvolvimento de novos tipos de torres. O controlo de qualidade verifica se o protótipo cumpre todos os requisitos antes de se iniciar o fabrico em série.





## **Torres de betão pré-fabricadas**

As torres de betão ENERCON não são fabricadas como uma única construção monolítica. As torres são compostas por segmentos de betão pré-fabricados individuais, com diâmetros que chegam a alcançar os 14,5 m. Os segmentos com diâmetros de grandes dimensões são produzidos em peças bipartidas ou tripartidas para permitir o seu transporte para locais de acesso difícil. Após a montagem, os segmentos são tensionados através de cabos de pré-esforço que atravessam o interior das paredes da torre, para formar uma unidade inseparável. Os segmentos pré-fabricados são produzidos em fábricas próprias e submetidos a rigorosos controlos de qualidade. A alta qualidade dos segmentos individuais é garantida através do uso de moldes de aço especiais com tolerâncias muito reduzidas. Para cada sector de produção existem instruções de procedimentos e de trabalho detalhadas. Desta forma, se garante a rastreabilidade de cada uma das etapas de trabalho, bem como dos materiais utilizados. As propriedades do betão de elevada resistência são verificadas adicionalmente por entidades de certificação deste tipo de materiais, que permitem garantir o nível máximo de qualidade. Estes segmentos são transportados para o local de construção em veículos de transportes especiais para a sua posterior montagem.

As juntas entre os vários segmentos de torre individuais são unidas com uma resina *epóxi* especial, para transmitir as forças de compressão de forma uniforme de segmento para segmento. Após a montagem da torre, os cabos de pré-esforço são introduzidos nas bainhas embutidas no interior das paredes dos segmentos e tensionados na cave da fundação. Após o tensionamento dos cabos de pré-esforço, os tubos são injetados com uma argamassa fina de cimento, para providenciar proteção anticorrosiva a longo prazo. [13]

## **Construção da fundação**

A fundação é o elemento de união entre a torre e o terreno e suporta todas as cargas estáticas e dinâmicas do aerogerador. As fundações ENERCON têm uma forma circular otimizada.



### **Vantagens das fundações circulares da ENERCON:**

- A distribuição de forças é igual, independentemente da direção do vento. As fundações em forma de cruz ou poligonais provocam pressões no terreno, que produzem sobrecargas nas áreas das esquinas.
- A forma circular reduz consideravelmente o volume de betão e de aço de armadura necessário. A forma circular também permite áreas de dimensões mais reduzidas e um volume economicamente otimizado.
- Nos cálculos estáticos é tido em conta a utilização da terra extraída nas escavações para cobrir a fundação. Isto permite assegurar a estabilidade até com diâmetros menores.
- As fundações da ENERCON são construídas de forma circular para evitar perdas de apoio sobre o terreno.

Uma vez que, dependendo da sua localização, cada terreno de construção suporta uma carga limitada, a ENERCON desenvolveu diferentes tipos de fundações. Desta forma, podem proporcionar-se soluções adequadas a curto prazo, para os mais diversos projetos de construção. Caso necessário, podem combinar-se outras medidas (tais como o melhoramento do solo ou sistemas de pilares) com as soluções padrão.

Desta forma, é possível iniciar a construção pouco tempo depois da obtenção da autorização de construção. [14]

## 1.4. PROJETOS

Os projetos são realizados na ENEOP 3 – Viana do castelo, fábrica de pás de Rotor. (Localização apresentada na **Figura 5**)



Figura 5 - Fábrica de Pás de Rotor / Fábrica de Torres de Betão

**Projeto 1** – “Planeamento dos Recursos Humanos, Eficiência do Departamento da Manutenção”

- Numa primeira fase, mais precisamente nos dois primeiros meses, foi feito um planeamento dos recursos humanos, no departamento de manutenção, pretendendo-se obter uma estimativa de número de pessoas por hora de execução das manutenções preventivas.

**Projeto 2** – “Top 5 maiores gastos da manutenção”

- Numa segunda fase, foi realizado um estudo dos 5 maiores gastos de material/peças na manutenção, introduzindo melhorias para redução de custos.

**Projeto 3** – “Gestão e manutenção integrada do Sistema de Aspiração”



- Na terceira fase, que teve uma duração de 4 meses, (os últimos do estágio), realizou-se um levantamento do sistema de aspiração da empresa, efetuando-se também o seu mapeamento e a elaboração do respetivo protocolo de manutenção. Por fim, tentou-se, ao longo deste trajeto, otimizar todo este sistema.



## **CAPÍTULO 2 – EXECUÇÃO DOS PROJETOS**



## 2.1. PROJETO 1

### 2.1.1. METODOLOGIAS

A empresa ENEOP3 tem uma base de dados baseada num programa denominado de “Lotus”, **Figura 6**, encontrando-se dividida por 5 tópicos, onde o Departamento de Manutenção tem acesso aos protocolos de manutenção dos respetivos equipamentos. Quando se aproxima esse período, é enviado automaticamente um aviso, via correio eletrónico, para o responsável de cada equipamento para que se prepare para efetuar a sua manutenção. Deste modo, para a realização do primeiro projeto, teve que se efetuar o levantamento de todos os protocolos de manutenção preventiva (ver exemplo na **Figura 7**), onde foi solicitado a cada chefe de equipa que facultasse o número de pessoas para cada atividade do protocolo e o seu tempo de execução.

ENEOP 3		Relatório de Inspeção		Revisão: 0			
				Página 1 de 2			
<b>Inspeção – Rotomax</b> (Quintana) <input type="checkbox"/> 25./ (Trimestral) <input type="checkbox"/> 3M							
Setor da Produção:		Data (Pim):		Nº Interno:			
Data (Pim):		Data (Pim):		Técnicos:			
Técnicos:		Técnicos:		Técnicos:			
<b>Etapas de trabalho</b>							
1. Verificações / trabalhos de manutenção	5 <sup>º</sup>	L <sup>º</sup>	25	3M	Apr.	F.M.	Time
Limpeza de todos os elementos do equipamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificação do estado das ligações eléctricas (Cabos, Comando, Ficha de Alimentação, ligações de terra)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Confirmar a boa ligação da ficha de alimentação à tomada da Ponte Rolante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificar ferros empenados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Testar comando.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificar aperto de todos os parafusos (com o binário correcto)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificar actuação do travão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificar funcionamento do motor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Confirmar corte das protecções eléctricas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verificar fichas de conexão no interior da carga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<small>* "L" 5º Semanal, "M" Mensal, "B" para substituição (troca), "L" para limpeza, "F.M." para Fecho de Material</small>							
<b>2. Outra manutenção / observações</b>							
Elaborado por: PM270 Rotomax				Verificado por: (nome/data):			
Elaborado por: (nome/data):				Aprovado por: (nome/data):			

**Figura 6 - Exemplo de protocolo de manutenção**

▼ ENEOP 3 - Desenvolvimento de Projecto Industrial S.A.
▼ Viana do castelo
▼ Production
▶ 1 Tecnologia de Produção
▶ 2 Equipamentos transporte
▶ 3 Máquinas manuais
▶ 4 Equipamentos Elevação
▶ 5 Equipamentos Medida

**Figura 7 – Programa Lótus**



De seguida após recolha dessa informação e com recurso a uma folha de cálculo Excel, estimou-se quantos **men.hours** seriam necessários para efetuar cada manutenção preventiva.

De modo exemplificativo: através do protocolo inspeção do *Rotomax*, **Figura 7**, que se trata de um equipamento de transporte, **Figura 6**, da sua edição e posterior preenchimento numa folha de Excel, pôde-se chegar a algumas conclusões, como o tempo de horas usadas para concluir os vários tipos de manutenções, **Tabela 1**.

	Quinzenal(2Semanas)									Trimestral(3Meses)								
	A			B			C			A			B			C		
	Nº Pessoas	Nº Horas	MH	Nº Pessoas	Nº Horas	MH	Nº Pessoas	Nº Horas	MH	Nº Pessoas	Nº Horas	MH	Nº Pessoas	Nº Horas	MH	Nº Pessoas	Nº Horas	MH
Limpez de todos os elementos do equipamento	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,167	0,17	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,167	0,167
Verificação do estado das ligações eléctricas (Cabos, Comando, Fichs de Alimentação, ligação de terra)	1	0,167	0,17	1	0,167	0,17	1	0,167	0,17	1	0,167	0,17	1	0,167	0,17	1	0,167	0,167
Confirmar a boa ligação da fiação de alimentação à tomada da Ponte Potente	1	0,033	0,03	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,033	0,03	1	0,083	0,08	1	0,083	0,083
Verificar terras empilhadas	1	0,05	0,05	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,05	0,05	1	0,083	0,08	1	0,083	0,083
Testar comando.	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,167	0,17	1	0,083	0,08	1	0,083	0,08	1	0,167	0,167
Verificar aperto de todos os parafusos (com o binário correcto)										1	0,25	0,25	1	0,333	0,33	1	0,25	0,25
Verificar actuação do travão										1	0,033	0,03	1	0,083	0,08	1	0,083	0,083
Verificar funcionamento do motor										1	0,033	0,03	1	0,083	0,08	1	0,083	0,083
Confirmar corte das protecções eléctricas										1	0,05	0,05	1	0,083	0,08	1	0,167	0,167
Verificar fiação de conexão no interior da caixa										1	0,033	0,03	1	0,083	0,08	1	0,167	0,167
			0,42			0,5			0,67			0,82			1,16			1,417

Tabela 1 - Valores men.hour da manutenção do Rotomax



Através do exemplo acima indicado foi efetuado o mesmo processo para os restantes equipamentos da produção e a partir daí concluiu-se qual o tempo despendido em cada manutenção.

		Semanal	Quinzenal	Mensal	Trimestral	Semestral	Anual	Bi-Anual	Manutenção após 50 pás
Cargas Suspensas	Rotomax		1,3		2,7				
	Travessa de vacuo das Almas		7,8		9,0		12,0		
	Travessas de Vácuo das longarinas	5,2				7,4	13,0		
	Travessas de Vácuo do Spoiler E92	7,4		0,8		5,3	26,9		
	Sistema posicionamento Almas da pá	5,2		9,2			11,3		
Cargas Não Suspensas	Carro de transporte das pás				16,3	24,1			
	Monta cargas das longarinas				17,9				
	Dispositivo transporte Spoiler								
	Dispositivo transp. Reforços Schamlz			2,6			4,5		
Pontes Rolantes	Diferencial de Cabo/ Ponte Rolante		26,1						

Tabela 2 – Todas as Manutenções dos Equipamentos de Transporte

Através dos resultados da **Tabela 2** e do **Gráfico 3** é possível verificar qual o tempo necessário para cada uma das manutenções, independentemente do período (semanal, quinzenal...) e dos equipamentos de transporte na unidade fabril.

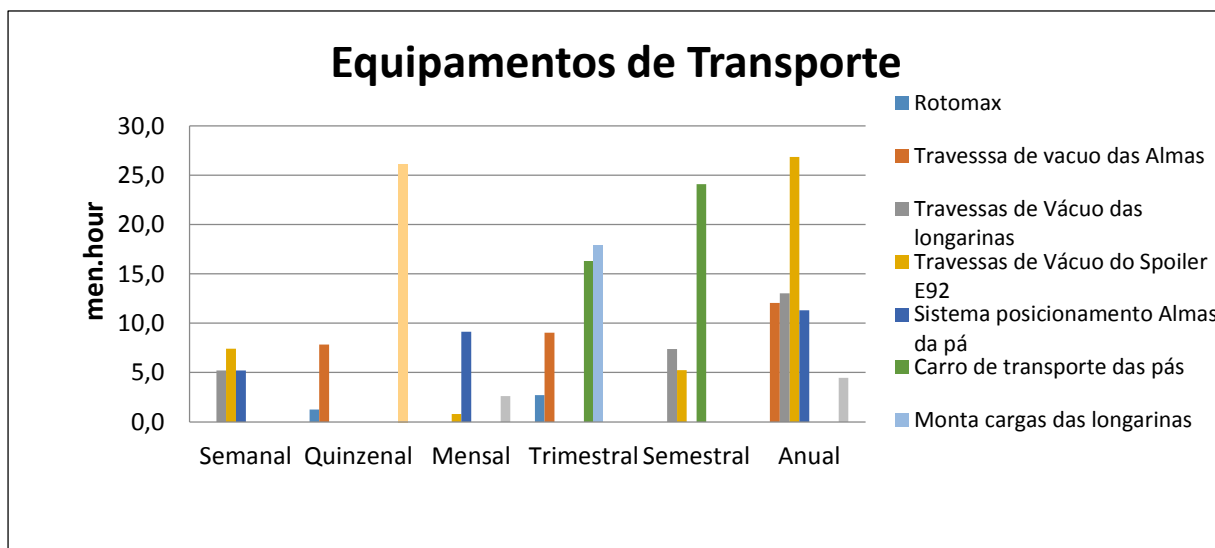


Gráfico 3 - Todas as Manutenções dos Equipamentos de Transporte

A informação da **Tabela 2** pode ser também visualizada graficamente, neste caso traduzida no **Gráfico 3**.



Em anexo pode ser consultada a informação, sob a forma de tabela ou gráfico, de todos os tempos e períodos existentes para realização de cada uma das manutenções dos equipamentos disponíveis na unidade fabril.

## 2.1.2. RESULTADOS

Por fim, foi contabilizado o número de manutenções preventivas a serem realizadas ao longo de um ano, dependendo do número total de horas que um técnico trabalha durante este mesmo período (**men.hour**). Deste modo, e através destes dois fatores, ficou-se a conhecer o número de técnicos necessários para concluir todos os protocolos (**Tabelas 3 e 4**). Os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4 decorrem de todos os protocolos apresentados no **Anexo 1**. Neste anexo apresenta-se ainda o gráfico percentual destes resultados.

PROTOCOLO	PROTOCOLOS POR ANO	MEN.HOUR	TOTAL
DIÁRIO	239	0,3	79,6
SEMANAL	48	124,4	5972,6
QUINZENAL	24	90,0	2160,2
MENSAL	12	1583,8	19005,5
TRIMESTRAL	4	407,3	1629,4
SEMESTRAL	2	652,0	1304,1
ANUAL	1	472,7	472,7
BIANUAL	0,5	16,5	8,3
MANUTENÇÃO APÓS 50 PÁS	12	589,3	7071,8

Tabela 3 - Número de Protocolos Realizados num ano

1 ANO	365
FINS-DE-SEMANA	104
FÉRIAS UTEIS	22
DIAS UTEIS	239
HORAS UTEIS	5377,5
<b>Nº TÉCNICOS NECESSÁRIOS PARA MANUTENÇÕES PREVENTIVAS</b>	<b>7</b>

Tabela 4 - Numero de Técnicos Necessários



### 2.1.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Através da realização deste 1º projeto e após um adequado levantamento dos dados e realização de alguns cálculos, conclui-se que para a execução de todas as manutenções preventivas da empresa ao longo de um ano, seria necessária uma equipa de 7 pessoas, independentemente de todos os fatores associados aos seus intervenientes.

## 2.2. PROJETO 2

O segundo projeto iniciou-se com a realização de um levantamento de todos os gastos monetários da empresa decorridos no ano de 2014, a nível mensal e anual, para posteriormente se compararem com os resultados obtidos após o estudo.

O objetivo deste projeto seria otimizar, modificar, recondicionar ou eventualmente condicionar os custos das compras necessárias, de modo a reduzir os mesmos ao longo do ano.

### 2.2.1. METODOLOGIAS

Para a realização do segundo projeto utilizou-se mais uma vez a ferramenta Excel de modo a monitorizar todo o processo e onde, através de uma filtragem personalizada, se conseguiu chegar a uma conclusão.

Peça	Quantidade
Plan Drill PKD MBF75-200-13-xx	77
Top Blade 70/71 Robuso	606
Shear foot carrier typeB Robuso	223
Botton Blade W.Scallop B71	571
Drill Dreborid 64-71	22

Tabela 5 - Top material mais usado/caro

O Milling (Plan Drill) e a Broca Radial (Drill Dreborid 64-71) têm uma função importante na produção das pás.



Figura 8 – Milling e Broca Radial

Um dos primeiros processos a ser concretizado logo após a criação da pá é o milling para garantir a *planicidade* da parte da flange. A broca radial é utilizada para efetuar a furação perpendicular à face da flange onde serão colocados os *bolts*, com o objetivo de obter um acoplamento perfeito com o rotor, no momento da montagem do aerogerador, **Figura 8**.

As três últimas peças pertencem a uma tesoura elétrica utilizada para o corte de fibra por todos os operadores da produção, tornando-se a máquina mais usada e, como consequência, das que tem maior desgaste e maiores custos em peças de manutenção, **Figura 9**.

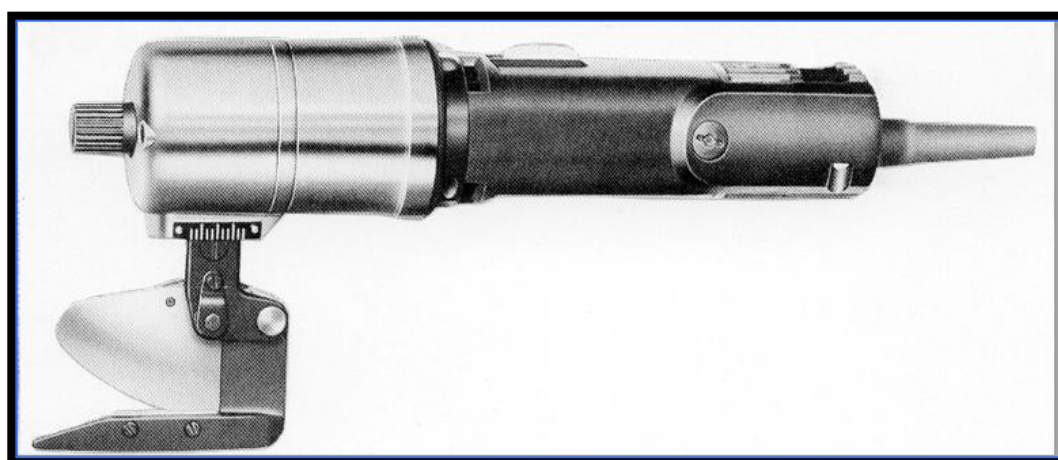


Figura 9 - Tesoura elétrica

## **Fresa de Milling**

A ferramenta utilizada para efetuar o *milling* da pá é uma fresa recondicionada, ou seja, tratada e reaproveitada, que tinha inicialmente um ciclo de vida de 40 horas. A primeira ação foi aumentar o número de horas de trabalho da fresa, porque se verificou que a mesma não estava a ser devidamente aproveitada, aumentando assim o seu desempenho. Decidiu-se então, a nível experimental, aumentar o ciclo de vida para as 50 horas, o que se revelou ser possível sem pôr em causa a qualidade do *milling*. Entretanto, realizou-se também um acompanhamento do seu comportamento, a nível de temperatura, com uma máquina termográfica. (**Gráfico 4**).

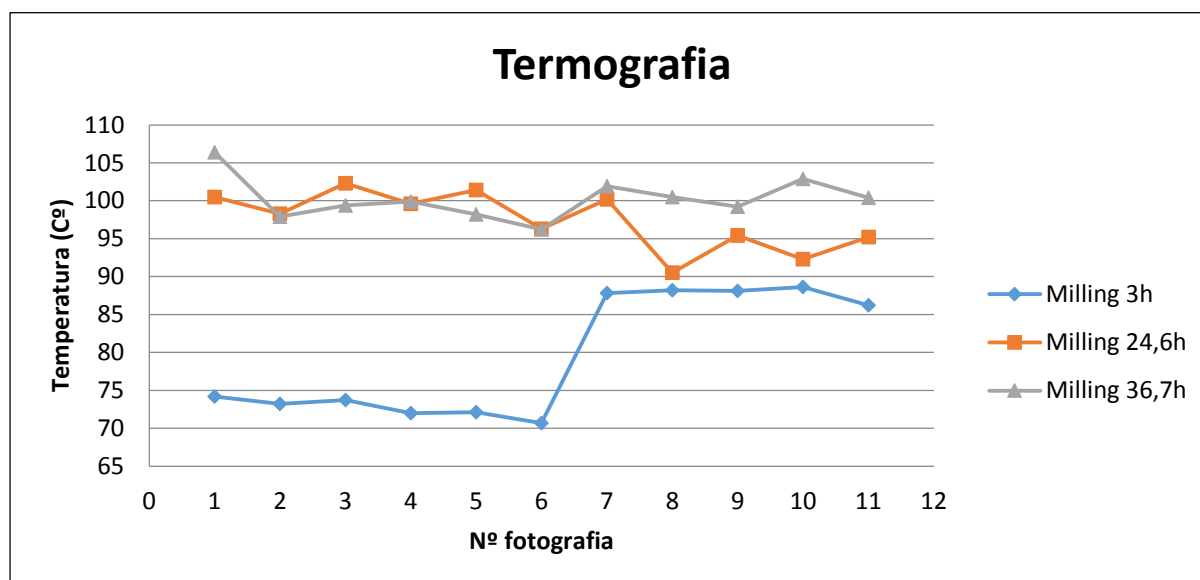


Gráfico 4 - Termografia de 40 horas de Milling, apresenta-se temperatura máxima de cada termografia

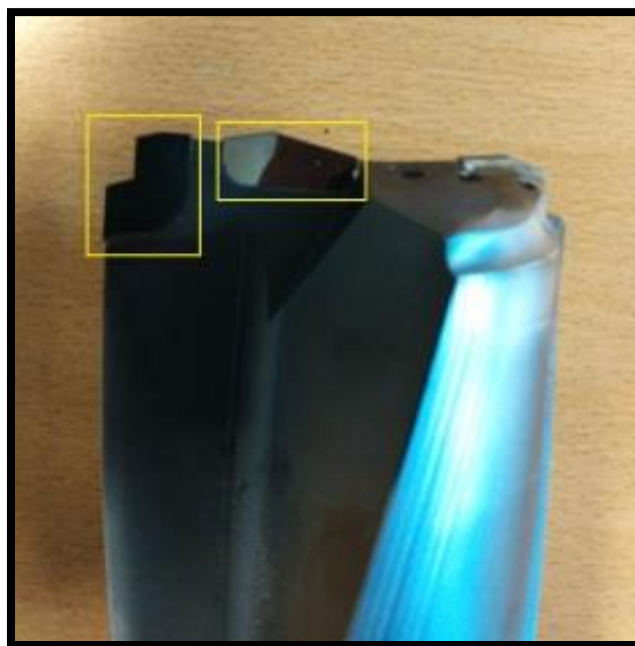
A fresa atingia ao longo do seu ciclo de vida elevadas temperaturas que diminuem o tempo de vida das pastilhas de corte, bem como o facto de queimar a fibra, podendo originar focos de incêndio. De modo a reduzir a sua temperatura durante o *milling* vai ser implementado um sistema de refrigeração interna, com recurso a ar comprimido. Com esta nova medida, o ciclo de vida da fresa aumentou, neste caso para as 60 horas.

### **Broca radial**

Dado que a broca radial tem um período de vida útil superior à fresa do *milling*, 120 horas, nunca foi realizado nenhum estudo no sentido de melhorá-la ou mesmo recondicioná-la. Para tal, foi efetuada uma pesquisa no mercado de possíveis empresas que realizassem recondicionamento deste tipo de brocas.

Encontrou-se uma empresa que garantiu o recondicionamento da broca, mantendo a qualidade, os respetivos parâmetros geométricos e a sua durabilidade em relação a uma nova. Neste caso, ao contrário da fresa de *milling*, em que o objetivo é aumentar o tempo de vida útil da mesma, neste caso procurou-se a sua recuperação, ou seja, a poupança introduzida será na redução dos custos inerentes à substituição por uma nova broca, pois o valor de recondicionamento é metade do valor de uma broca nova.

O recondicionamento consiste essencialmente em substituir as pastilhas de corte em diamante presentes na broca, como pode ser visualizado na imagem seguinte (figura 10), onde as pastilhas gastas são dessoldadas e o corpo da broca é limpo e tratado, para posteriormente se efetuar a solda de novas pastilhas de corte.



**Figura 10 - Pastilhas de diamante**



## **Tesoura Elétrica**

Também denominada como *Robuso* (marca do equipamento), como referido anteriormente, é um dos equipamentos mais utilizados ao longo do processo da produção das pás. Como tal, é um equipamento que sofre um elevado desgaste em certos componentes sendo estes:

- Lâmina inferior (*Bottom Blade W.Scallop B71*)
- Braço (*Shear foot carrier typeB Robuso*)
- Lâmina superior (*Top Blade 70/71 Robuso*)

**Lâmina inferior** – Até ao momento da realização deste projeto não estava a ser realizado qualquer tipo de aproveitamento desta lâmina, pois não existia equipamento que a permitisse afiar. Deste modo, o primeiro passo a ser efetuado foi o fabrico de um suporte para afiar lâminas inferiores, que pode ser visualizado na **Figura 11**.



**Figura 11 - Suporte para afiar Lâminas Inferiores**

Para o correto funcionamento da tesoura elétrica é necessário que ambas as lâminas tenham uma folga mínima entre elas, como uma tesoura tradicional, folga essa que vai aumentando à medida que se vai afiando a lâmina inferior.

Para contrariar essa situação foram criados uns espaçadores metálicos de 1mm, que são colocados entre o braço e a lâmina inferior. (**Figura 12 -**

**esquerda**)

Entretanto, também foi efetuado um levantamento do número de lâminas que foram descartadas por não poderem ser reutilizadas. Foram encontradas 1517 lâminas inferiores, que eram consideradas impróprias para utilização na tesoura. (**Figura 12 - direita**)

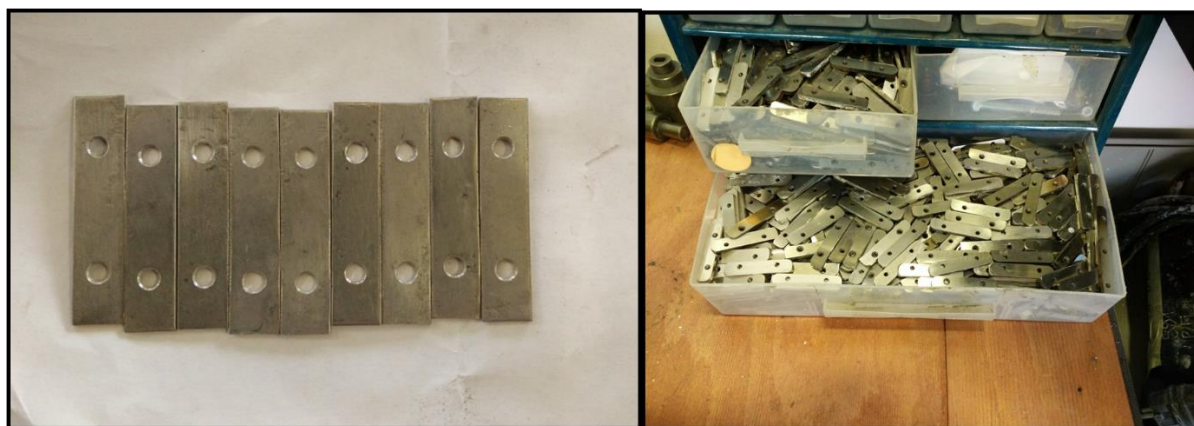


Figura 12 - Espaçadores e lâminas Inferiores anteriormente descartadas

**Braço** – Relativamente ao braço, foi observado que este era demasiado frágil para o tipo de utilização a que estava a ser submetido. Para tal, foram efetuadas melhorias no sentido de o tornar mais robusto, para evitar que este deformasse e tivesse que ser substituído. Já que estava ser alvo de alterações estruturais surgiu também a ideia de se separar o braço em duas peças distintas, sendo uma delas para fixação da tesoura elétrica e a outra que suporta a lâmina inferior, permitindo ainda que nesta última se ajuste também a lâmina superior em função do desgaste. (*Figura 13*).



Figura 13 - Braço Original e Braço Modificado

**Lâmina superior** – inicialmente as lâminas superiores depois de afiadas 3 ou 4 vezes, eram completamente descartadas e substituídas por uma nova, visto que o desgaste não permitia que esta entrasse em contato com a lâmina inferior e cortasse a fibra de modo correto. Como foi referido anteriormente, com o *update* efetuado no braço tornou-se possível ter um maior aproveitamento das lâminas superiores, uma vez que a lâmina inferior é ajustável em altura garantindo assim o contato entre as duas (**Figura 14**).



Figura 14 - Tesoura elétrica com o braço modificado



## 2.2.2. RESULTADOS

Como resultado desta intervenção, estima-se uma redução do consumo de fresas para cerca de 50%, como pode ser visto na linha de tendência do gráfico abaixo.

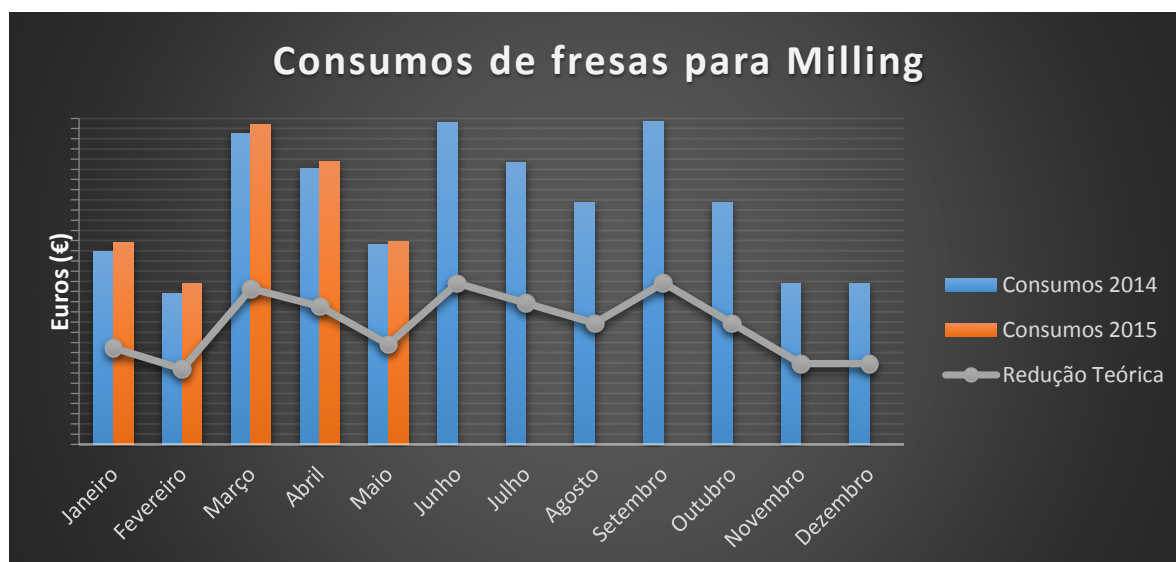


Gráfico 5 - Consumos de fresas para Milling

A substituição de brocas radiais novas por recondicionadas originará uma redução de custos, em cerca de metade comparativamente com os custos atuais. (Gráfico 6)

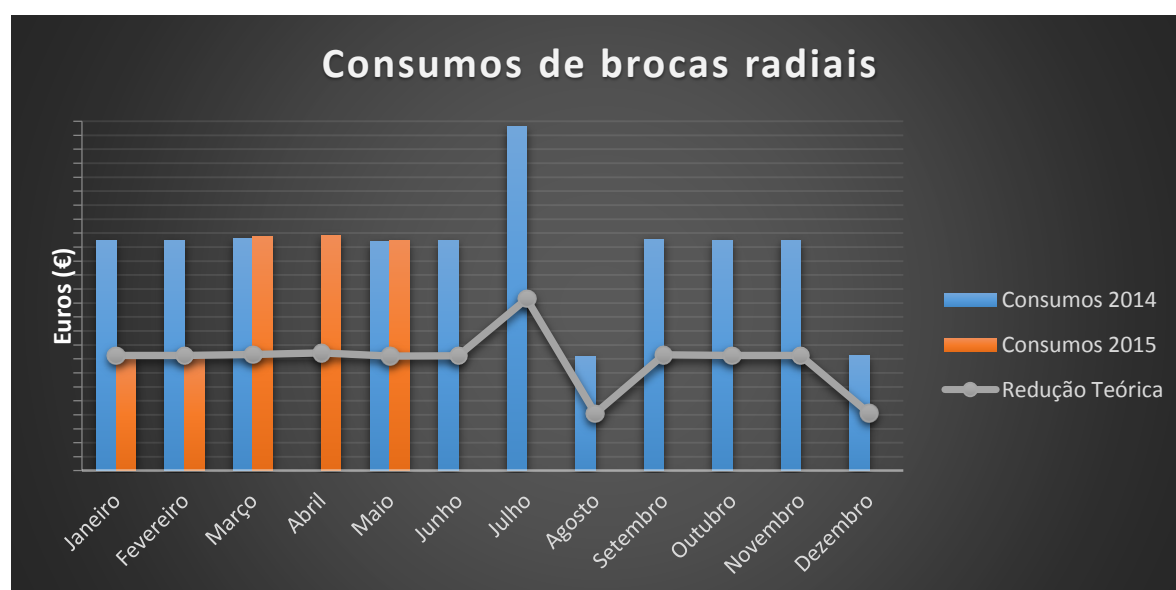


Gráfico 6 - Consumos de brocas radiais



Ao implementar o suporte que permite afiar lâminas inferiores, devido ao *stock* existente atualmente, durante um longo período de tempo é possível recondicionar essas mesmas lâminas e substituí-las sem ter que adquirir novas. Isto representa uma enorme poupança em termos monetários para a empresa, como graficamente se pode constatar de seguida (**Gráfico 7**).

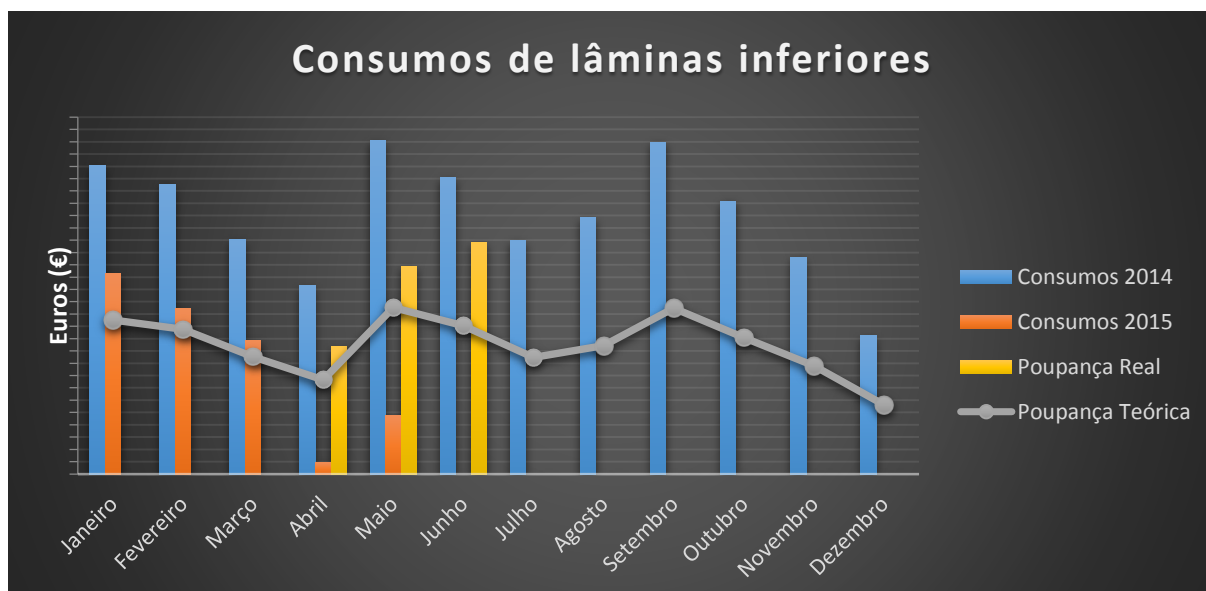


Gráfico 7 - Consumos de lâminas inferiores

Com o *update* realizado no braço da tesoura elétrica, está prevista uma redução estimada de 50% no seu consumo (**Gráfico 8**), visto que a maior robustez evita a deformação de forma tão rápida, como a que acontecia até então.

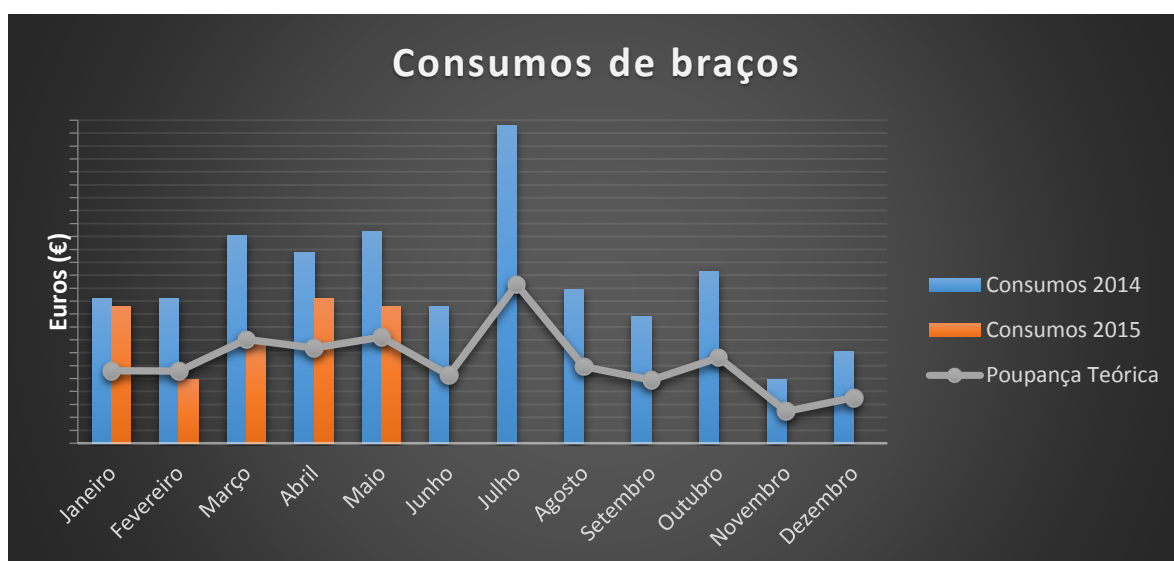


Gráfico 8 - Consumos de braços



Em conjugação com a melhoria efetuada ao braço, que permitiu elevar a lâmina inferior, o número de vezes que as lâminas superiores são afiadas aumenta, logo está-se a aumentar o tempo de vida útil e, por consequência, diminuir os custos com aquisição de novas lâminas.

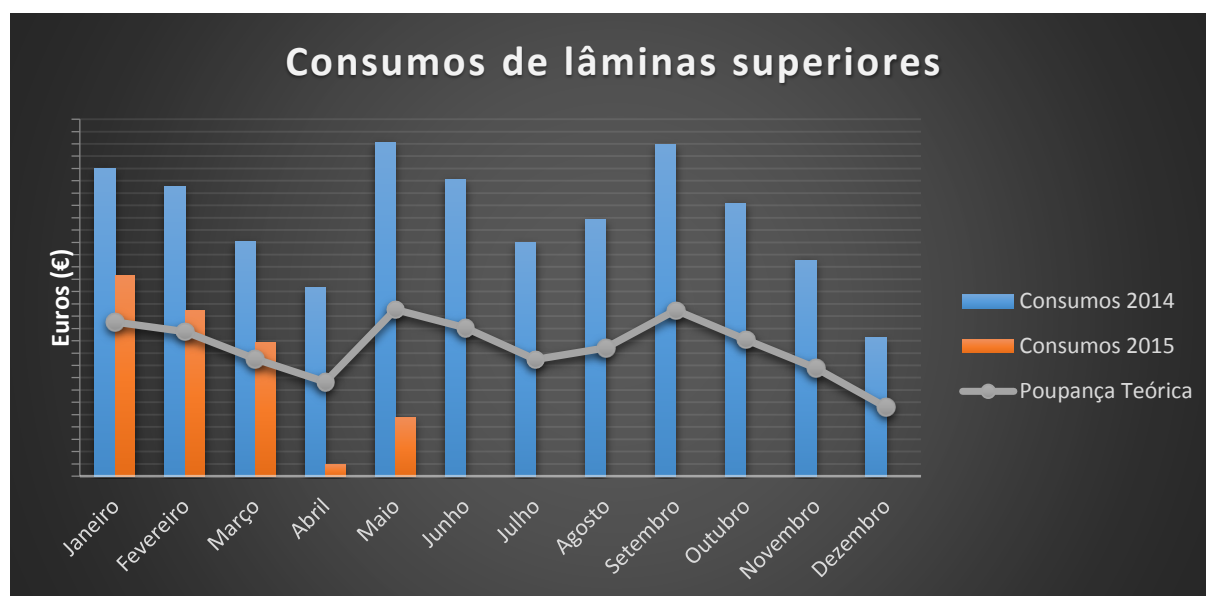


Gráfico 9 - Consumos de lâminas superiores

### 2.2.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos vão de encontro ao esperado. Podemos assegurar uma redução geral de 50% nos custos associados a cada peça anteriormente referida, com exceção das lâminas superiores, onde se estima uma redução de 70%, devido ao número de vezes que são afiadas atualmente, e muito próximo dos 100% para as lâminas inferiores, resultante do grande número em *stock* existente de lâminas por afiar.

Esta poupança poderá ser de centenas de milhares de euros anuais para a empresa e, assim, esse dinheiro ser empregue em melhorias contínuas de modo a tornar o processo produtivo cada vez mais eficiente.

## 2.3. PROJETO 3

O terceiro projeto como já referido anteriormente, tem como objetivo elaborar uma gestão e manutenção integrada, do sistema de aspiração existente na unidade fabril.

### 2.3.1. METODOLOGIAS

A primeira fase do projeto passou por efetuar um levantamento da rede de aspiração já existente e elaborar o *layout* da mesma que pode ser consultado no documento em anexo (**Anexo 2**). Nesse *layout* está definida a rede completa de aspiração, com os diferentes diâmetros de tubagem e a localização dos respetivos pontos de aspiração.

Numa das secções da empresa, secção do acabamento, será realizada uma melhoria nos pontos de aspiração de modo a standardizar o número de pontos de aspiração de cada linha, bem como a introdução de uma tomada elétrica de 220V, que permite a ligação das lixadoras e, deste modo, reduzir o número de extensões espalhadas pelo chão, diminuindo a probabilidade da ocorrência de um acidente e melhoria do aspeto visual da área (**Figura 15**) e *layout* das tampas standardizadas em **Anexo 3**.



Figura 15 - Tampa Standard



Por fim, após a instalação destes pontos de aspiração, juntamente com as tomadas elétricas, irá ser um protocolo de manutenção preventiva quinzenal ao sistema de aspiração, de modo a evitar que existam fugas na linha e reduzindo, assim, as perdas de sucção do sistema. Com isto, haverá também uma diminuição do consumo energético visto que, os dois motores de vácuo não terão que estar sempre a trabalhar na potência máxima, para compensação das perdas.

### **2.3.2. DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

Com estas melhorias efetuadas no sistema de aspiração, reduziu-se a probabilidade da ocorrência de acidentes, devido à redução da quantidade de fios e tubos de aspiração espalhados pelo chão. Existe também uma melhoria em termos visuais da unidade do acabamento e aumento da eficiência do sistema ao elaborar manutenções periódicas preventivas, eliminando assim possíveis fugas de aspiração que pudessem ocorrer.





## CAPÍTULO 3 – CONCLUSÃO



Com todas as tarefas executadas e com as posteriores medidas implementadas ao longo do estágio, conclui-se que os objetivos estipulados no início do estágio profissional foram atingidos. Ao longo deste período de trabalho foi possível alcançar uma redução significativa dos custos anuais associados à manutenção dos equipamentos.

Previam-se no início do estudo uma poupança de cerca de 50% nos custos de peças de reposição tanto para as lâminas de corte da tesoura elétrica bem como o material da fresa e da broca radial. Este objetivo foi alcançado e atualmente já se conseguiu aumentar o tempo de vida útil da fresa do *Milling* e reduzir para metade os custos da broca radial.

Relativamente à tesoura elétrica, os resultados excederam as expectativas, com uma poupança de praticamente 100% nos próximos 3 anos nas lâminas inferiores e cerca de 70% em lâminas superiores.

Em relação à última etapa deste estágio profissional, verificou-se uma melhoria significativa, tanto em termos de organização como em eficiência do equipamento, ao implementar o novo *layout* na rede de aspiração na seção de acabamento e ao introdução um novo protocolo de manutenção preventiva quinzenal.

Finalmente, concluiu-se também que seria necessária uma equipa de 7 pessoas dedicadas inteiramente a manutenções preventivas ao longo de um ano de trabalho.

Paralelamente a estes projetos, foram realizadas outras atividades tais como o acompanhamento da desmontagem dos moldes e das plataformas associadas ao modelo E-92 do aerogerador da ENERCON, para o posterior envio do mesmo para outro país e oficialização de protocolos de manutenção preventiva da maioria dos equipamentos, devido a auditoria interna ISO9001 - gestão da qualidade.



## CAPÍTULO 4 – REFERÊNCIAS



1. <http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/energiasrenovaveis/Pages/EnergiasRenovaveis.aspx>
2. <https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/energia-eolica-no-mundo/>
3. <http://www.eneop.pt/>
4. <http://www.enercon.de/pt-pt/unternehmensvorstellung.htm>
5. <http://www.enercon.de/pt-pt/chronologie.htm>
6. <http://www.enercon.de/pt-pt/unternehmensdaten.htm>
7. <http://www.enercon.de/pt-pt/marktanteile.htm>
8. <http://www.enercon.de/pt-pt/unternehmensqualitaet%20.htm>
9. <http://www.enercon.de/pt-pt/antriebssystem.htm>
10. <http://www.enercon.de/pt-pt/ringgenerator.htm>
11. <http://www.enercon.de/pt-pt/anlagensteuerung.htm>
12. <http://www.enercon.de/pt-pt/netzintegration.htm>
13. <http://www.enercon.de/pt-pt/turmbau.htm>
14. <http://www.enercon.de/pt-pt/fundamentbau.htm>



## ANEXOS





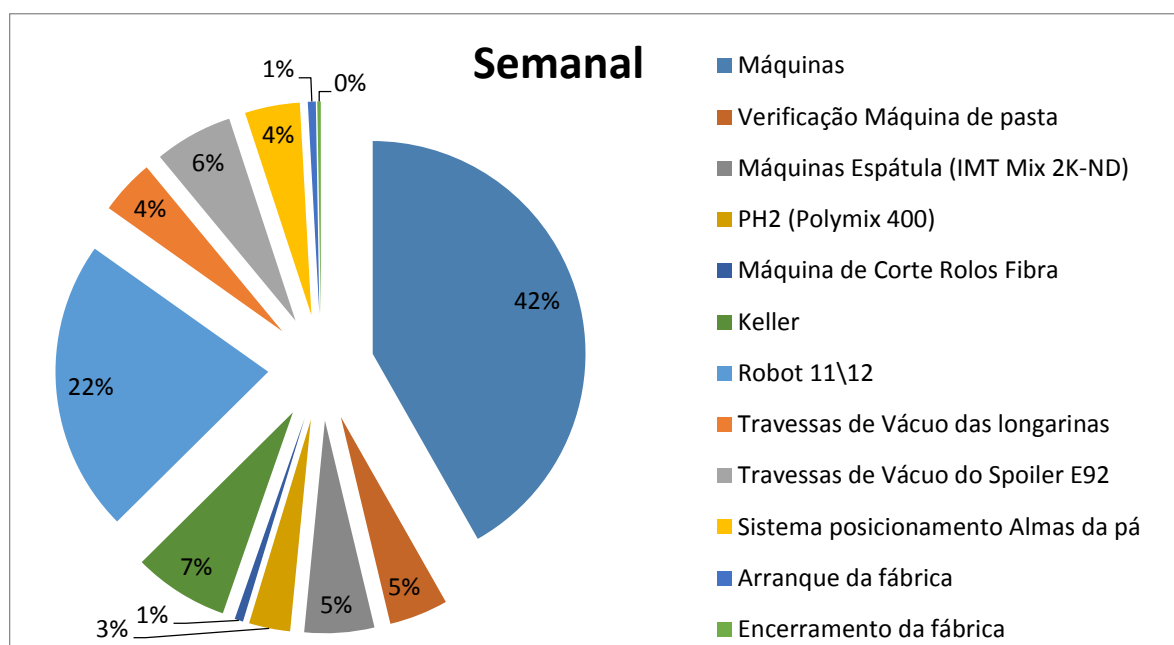
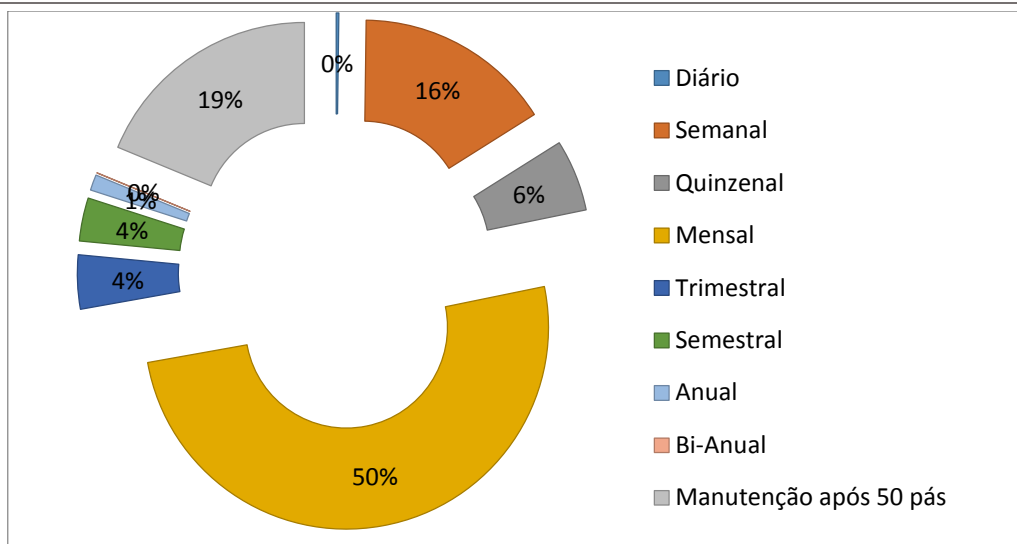
## Anexo 1 – Protocolos de Manutenção preventiva

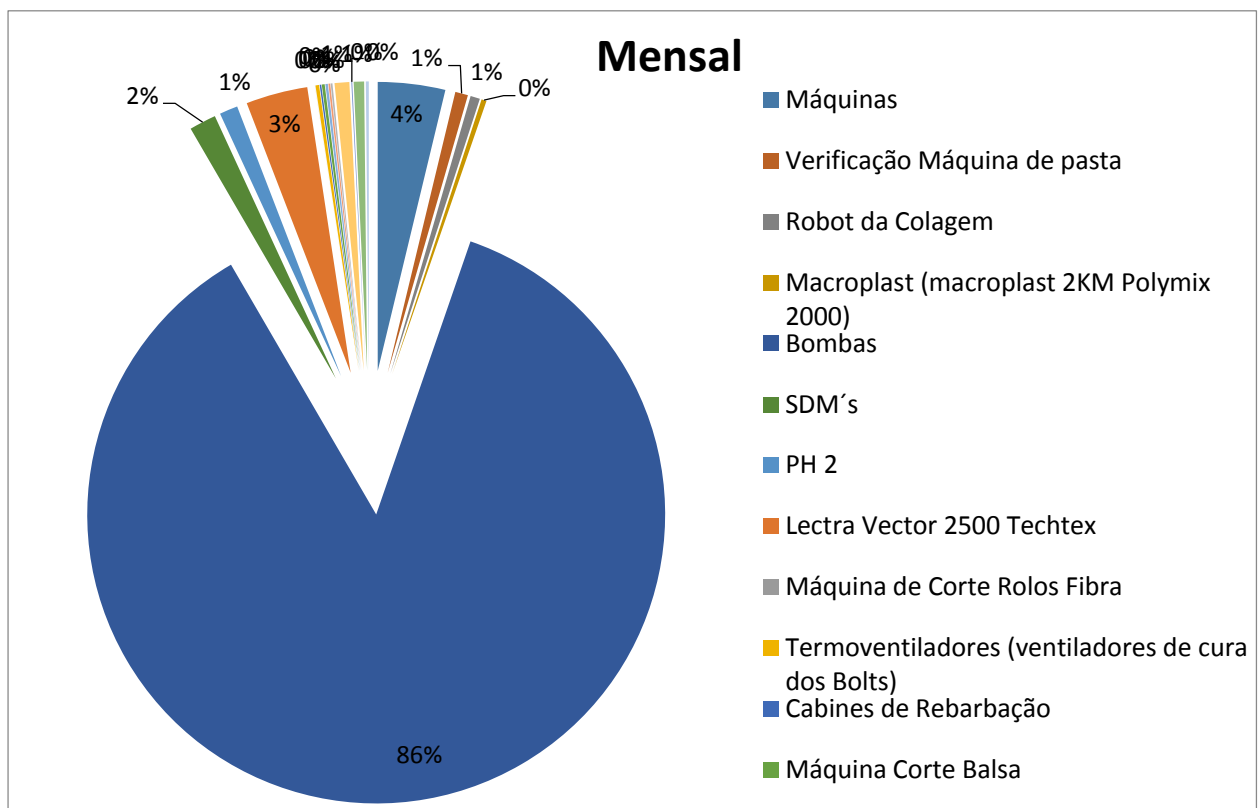
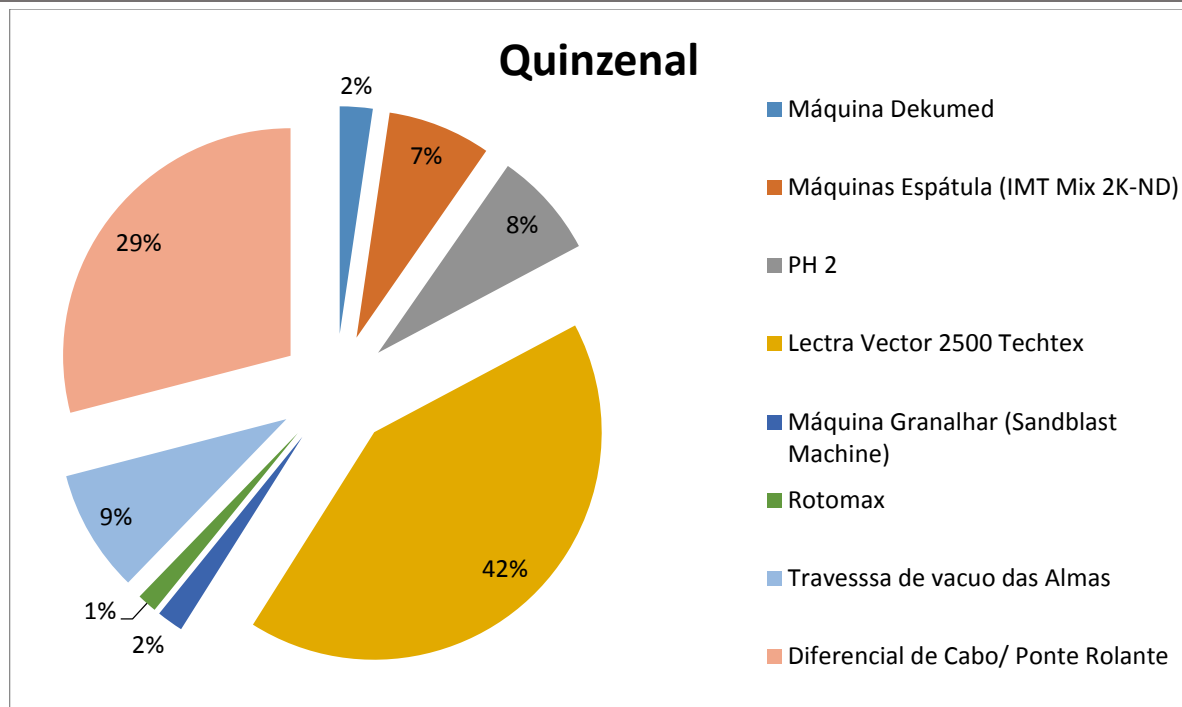


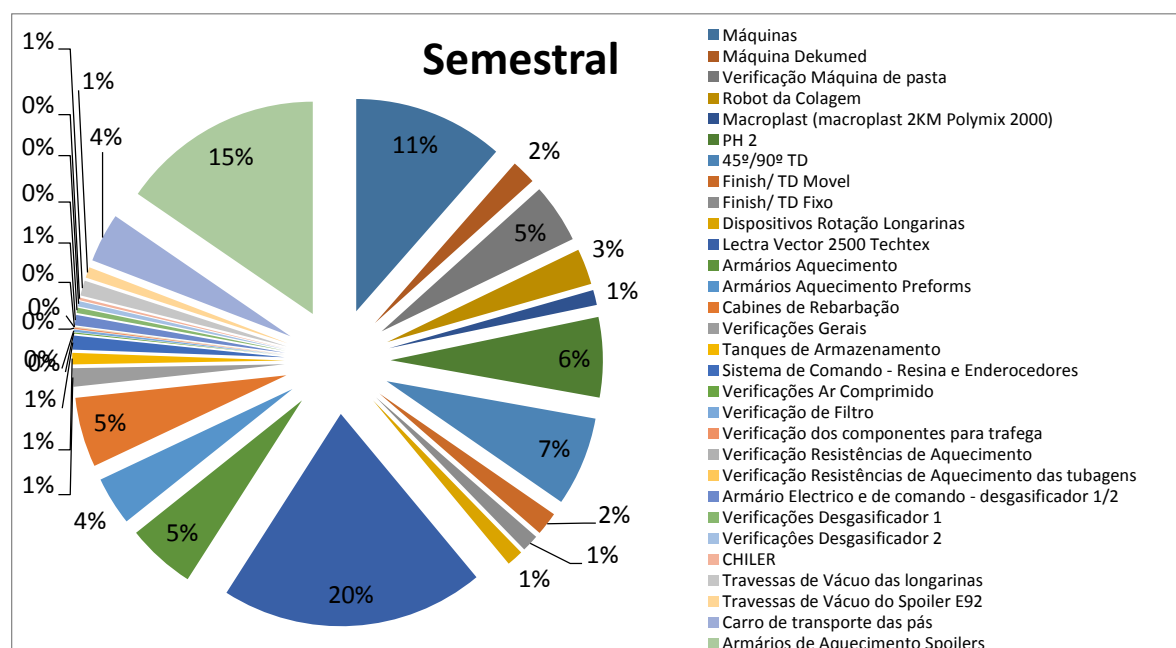
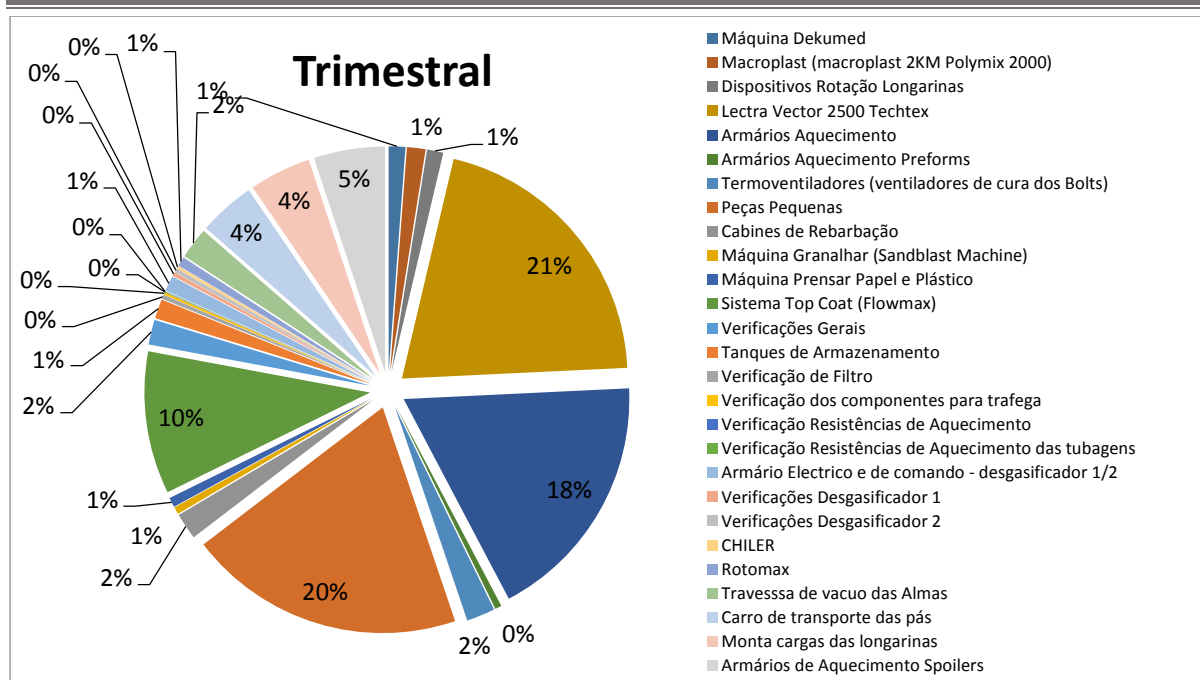


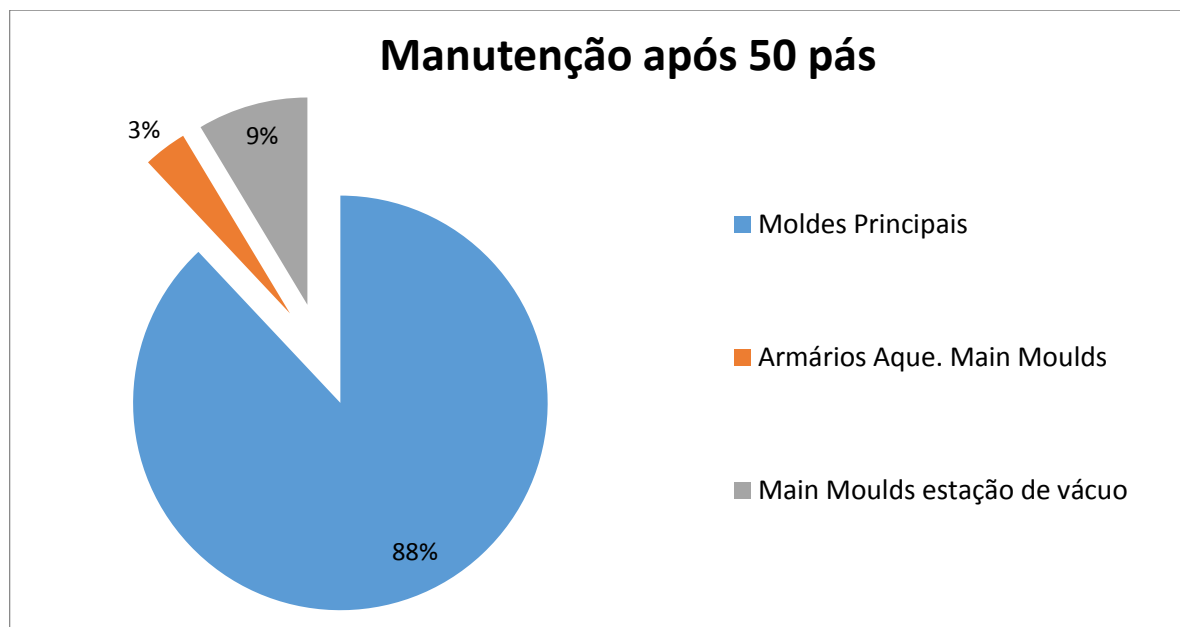
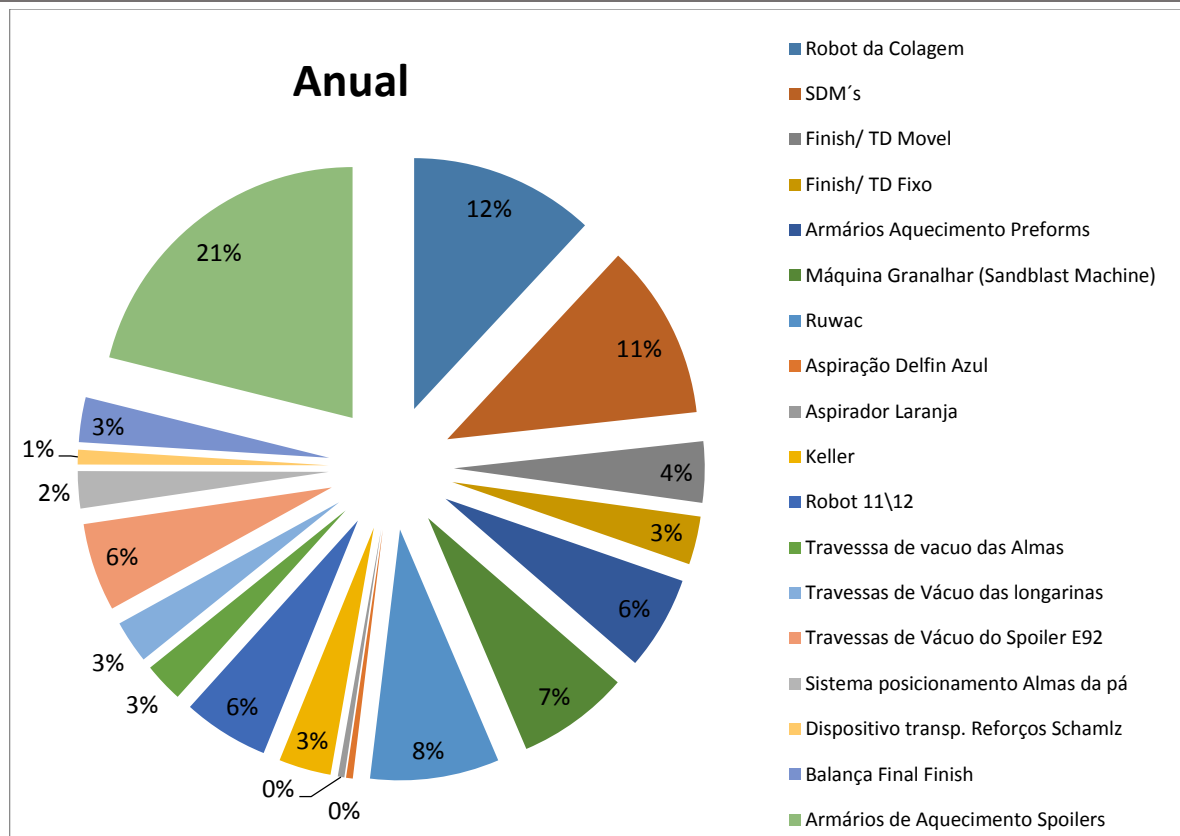


			Máquinas	Diária	Semanal	Quinzenal	Mensal	Trimestral	Semestral	Anual	Bi-Anual	Manutenção após 50 pás
Equipamentos de produção	Moldes	Moldes Principais	3									518,6
	Máquinas de Doseamento	Máquinas	9		52,0		59,6		73,7			
		Máquina Dekumed	1			2,1		4,8	12,0			
		Verificação Máquina de pasta	2		5,6		11,3		29,0			
		Máquinas Espátula (IMT Mix 2K-ND)	2		6,6	6,6						
		Robot da Colagem	1				8,4		17,6	56,4		
		Macroplast (macroplast 2KM Polymix 2000)	1				4,5	5,4	7,4			
		PH2 (Polymix 400)	1		3,9							
	Bombas de Vácuo	Bombas	93				1367,2					
		SDM Machine e PH Device	2				23,8			53,6		
	TD	PH 2	2			6,8	16,2		39,2	8		
		ASP/90º TD	5						43,7	8		
		Finish/ TD Movei	3						11,4	18,6		
		Finish/ TD Fixo	3						8,4	14,7		
		Dispositivos Rotação Longarinas	1					4,7	8,1			
	Máquinas de Corte	Lectra Vector 2500 Techtex	1			37,6	54,7	82,9	129,2			
		Máquina de Corte Rolos Fibrá	1		0,8		0,1					
	Sistema de Aquecimento	Armários de Aquecimento Spoilers	2					20,6	99,2	99,8		
		Armários Aquecimento	14					72,8	33,6			
		Armários Aque. Main Moulds	6									20,0
		Armários Aquecimento Preforms	2					1,9	23,8	28,6		
		Termoventiladores (ventiladores de cura dos Bolts)	3				3,2	8,3				
		Dispositivos Infravermelhos										
		Estação regulação Vácuo										
	Equipamentos Diversos	Pecas Pequenas	17					79,9				
		Main Moulds estação de vácuo	4									50,8
		Cabines de Rebarbação	3				1,4	7,7	34,2			
		Máquina Granalhhar (Sandblast Machine)	1			1,7		2,1		34,2		
		Máquina Corte Balsa	1				2,6					
		Máquina de Mistura Silicone										
		Máquina Prensa Latas de Tinta Finish										
		Máquina Prensa Papel e Plástico	1				2,2	2,8				
		Máquina de dobrar perfil em V										
		Equipamentos SafetyKleen										
	Sistema de Aspiração	Ruwac	2							39,3		
		Aspiração Delfin Azul	1				1,6			2,0		
		Aspirador Laranja	1				1,5			2,0		
		Keller	1		9,0		13,0			15,9	16,5	
	Cabine de Pintura	Robot 11112	2		27,7					26,2		
		Sistema de ventilação										
		Sistema Top Coat (Flowmax)	2					41,2				
	Sala de Resina	Sistema combate incêndios										
		Verificações Gerais	1					7,2	9,0			
		Tanques de Armazenamento	1					5,6	5,6			
		Sistema de Comando - Resina e Enderocedores	1						6,8			
		Verificações Ar Comprimido	1						0,6			
		Verificação de Filtro	1					1,2	1,2			
		Verificação dos componentes para trafega	1					0,7	0,7			
		Verificação Resistências de Aquecimento	1					0,2	0,2			
		Verificação Resistências de Aquecimento das tubagens	1					0,2	0,2			
		Armário Electrico e de comando - desgasificador 1/2	1					4,5	5,1			
		Verificações Desgasificador 1	1					1,1	2,6			
		Verificações Desgasificador 2	1					1,1	2,6			
		CHILER	1					0,8	1,3			
	Equipamentos de transporte	Cargas Suspensas										
		Rotomax	2			1,3		2,7				
		Travessa de vacuo das Almas	2			7,8		9,0		12,0		
		Travessas de Vácuo das longarinas	2		5,2				7,4	13,0		
		Travessas de Vácuo do Spoiler E92	2		7,4		0,8		5,3	26,9		
		Sistema posicionamento Almas da pá	1		5,2		9,2			11,3		
		Cargas Não Suspensas										
		Carro de transporte das pás	6					16,3	24,1			
		Monta cargas das longarinas	1					17,9				
		Dispositivo transporte Spoiler										
		Dispositivo transp. Reforços Schamlz	1				2,6			4,5		
	Pontes Rolantes	Diferencial de Cabo/ Ponte Rolante	20			26,1						
Equipamentos de Medida	Balanças	Balança Final Finish	1					3,9	9,1	13,7		
Checklist	Fábrica	Sala de resina	-	0,3								
		Arranque da fábrica	-		0,8							
		Encerramento da fábrica	-		0,3							













## Anexo 2 – *Layout* do sistema de aspiração da unidade fabril











## Anexo 3 – *Layout* das tampas standardizadas



